

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS  
ESCOLA DE ENGENHARIA  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE ESTRUTURAS  
DOUTORADO EM ENGENHARIA DE ESTRUTURAS

**AVALIAÇÃO DA ESTRUTURA DE MÓVEIS ESCOLARES  
DE MADEIRA DE EUCALIPTO**

Aluna: Carla Paoliello de Lucena Carvalho  
Orientador: Prof. Dr. Edgar V. Mantilla Carrasco

Belo Horizonte, março de 2008

## **DEDICATÓRIA**

Para Cássio de Lucena Carvalho.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço particularmente ao Professor Edgar Vladimiro Mantilla Carrasco pelas orientações valiosas e amigas.

Aos professores e funcionários do Departamento de Engenharia de Estruturas pela oportunidade de realizar este trabalho.

Aos colegas do Laboratório de Análise Experimental de Estruturas pela convivência e permanente apoio.

Aos amigos do Centro Universitário do Leste de Minas Gerais pelo incentivo.

À FINEP, CNPq e FAPEMIG pelo apoio financeiro à pesquisa.

E, sobretudo, à minha família pela constante paciência e valorização.

## SUMÁRIO

Lista de Figuras	ix
Lista de Tabelas	xvii
Resumo	xxiii
Abstract	xxiv
1 INTRODUÇÃO	01
1.1 Objetivos da Pesquisa	04
1.2 Estrutura do Trabalho	05
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	07
2.1 Considerações sobre o Design de Móveis Escolares	07
2.2 A Escolha do Material: <i>Eucalyptus grandis</i> e <i>Eucalyptus cloeziana</i>	10
2.3 Análise de Ligações para Móveis de Madeira	14
2.3.1 Introdução	14
2.3.2 Ligações Cavilhadas	15
2.3.3 Ligações Espigadas	20
2.3.4 Adesivos	27
2.3.5 Modelos Numéricos	29
2.4 Avaliação da Conformidade de Móveis Escolares	34
2.4.1 Introdução	34
2.4.2 Metodologias de Ensaio	35

3	MATERIAIS E MÉTODOS	41
3.1	Avaliação das ligações	41
3.1.1	Introdução	41
3.1.2	Avaliação Experimental do Comportamento de Ligações Espigadas e Cavilhadas	42
3.1.3	Avaliação Numérica do Comportamento de Ligações Espigadas e Cavilhadas	49
3.1.4	Metodologia de Otimização das Ligações	54
3.2	Avaliação do Protótipo	59
3.2.1	Apresentação e Definição	59
3.2.2	Avaliação Experimental	62
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	73
4.1	Apresentação dos Dados Resultantes da Avaliação Experimental das Ligações	73
4.2	Discussão dos Dados Resultantes da Avaliação Experimental das Ligações	82
4.2.1	Análise Teórica: Ligações Cavilhadas	84
4.2.2	Análise Teórica: Ligações Espigadas	94
4.3.3	Colapso	104
4.3	Apresentação e Discussão dos Dados Resultantes da Avaliação Numérica	106
4.3.1	Apresentação dos Resultados da Otimização das Ligações	109
4.4	Apresentação e Análise dos Resultados dos Ensaio da NBR 14006/2003	112
4.4.1	Resultados dos Ensaio da NBR 14006/2003	112
4.4.1.1	Ensaio de carga estática no assento da cadeira (6.4.1)	113
4.4.1.2	Ensaio de carga estática no encosto da cadeira (6.4.2)	120
4.4.1.3	Ensaio de fadiga no assento da cadeira (6.4.3)	127
4.4.1.4	Ensaio de fadiga no encosto da cadeira (6.4.4)	134

4.4.1.5 Ensaio de resistência a esforços em uma perna frontal da cadeira (6.4.5)	141
4.4.1.6 Ensaio de impacto no assento da cadeira (6.4.6)	144
4.4.1.7 Ensaio de impacto no encosto da cadeira (6.4.7)	152
4.4.1.8 Ensaio das ponteiros dos pés da cadeira (6.4.10)	159
4.4.1.9 Ensaio do apoio para os pés da cadeira (6.4.11)	162
4.4.1.10 Ensaio de carga estática vertical da mesa (6.3.1)	164
4.4.1.11 Ensaio de carga estática horizontal da mesa (6.3.3)	168
4.4.1.12 Ensaio de impacto vertical no tampo da mesa (6.3.4)	175
4.4.1.13 Ensaio de fadiga horizontal da mesa (6.3.6)	181
4.4.2 Discussões sobre a NBR 14006/2003	182
5 CONCLUSÃO E RECOMENDAÇÕES	188
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	193
ANEXO A	
Análise Ergonômica do Mobiliário Escolar Existente em uma Escola Pública	212
A.1 Introdução	213
A.2 Observações Iniciais: Definição de Ergonomia	213
A.3 Configuração do Sistema de Trabalho e Análise dos Determinantes	214
A.3.1 Os Alunos	214
A.3.2 Os Professores	217
A.3.3 A Organização	221
A.4 Estabelecimento das Observáveis e Pré-diagnóstico	226
A.5 Conclusão	230

## ANEXO B

Redesenho do Mobiliário Escolar a partir dos Ensaios de Usabilidade e de Resistência	232
B.1 Introdução	232
B.2 Ensaios de Usabilidade	234
B.3 Ensaios de Resistência, Estabilidade e Dimensional	238
B.4 Resultados	239
B.4.1 Ensaios de Usabilidade	240
B.4.2 Ensaios de Resistência, Estabilidade e Dimensional	243
B.5 Recomendações	246
B.6 Conclusão	249

## ANEXO C

Dados completos dos Ensaios e Estudos Comparativos com as Ligações Cavilhadas e Espigadas	250
---	-----

## Lista de Figuras

Figura 2.1	Ligação com cavilhas	16
Figura 2.2	Desenho das peças de madeira usadas nos ensaios	17
Figura 2.3	Variação no posicionamento da trava	19
Figura 2.4	Distâncias $d_1$ e $d_2$	20
Figura 2.5	Definição das partes de uma espiga	21
Figura 2.6	Junção espiga ou macho-fêmea	22
Figura 2.7	Junção macho-fêmea	22
Figura 2.8	Junção macho-fêmea para móveis desmontáveis	23
Figura 2.9	Reforço da espiga através do emprego de cavilhas	23
Figura 2.10	Espiga dupla	24
Figura 2.11	Esquema da cadeira avaliada no estudo de Gustafsson	30
Figura 2.12	Diagrama da cadeira estudada por Smardzewski	31
Figura 2.13	Distribuição das forças internas: forças normais, forças de cisalhamento, momentos fletores e a deformação	31
Figura 2.14	Diagrama estático da estrutura da cadeira por Smardzewski e Papuga	33
Figura 2.15	Componentes de uma linha adesiva, interface e madeira para ligações coladas	34
Figura 2.16	Relação entre a resistência do material x tempo	39
Figura 3.1	Configuração final dos CPs	43
Figura 3.2	Espaçamento entre cavilhas	45
Figura 3.3	Configuração geral do ensaio de flexão e posicionamento do CP	46
Figura 3.4	Diagrama de carregamento	47
Figura 3.5	Exemplo de um gráfico força-tempo dos ensaios realizados	47
Figura 3.6	Configuração geral do ensaio de arrancamento e posicionamento do CP	48
Figura 3.7	Direções principais da madeira	50

Figura 3.8	Volumes utilizados para a construção do modelo numérico da ligação cavilhada	52
Figura 3.9	Volumes utilizados para a construção do modelo numérico da ligação espigada	52
Figura 3.10	Posição dos volumes nas ligações cavilhada e espigada	53
Figura 3.11	Elementos de molas na interface montante-travessa	53
Figura 3.12	Ciclo de aplicação da carga e gráfico força versus deslocamento	54
Figura 3.13	Seções de corte do trecho da ligação a ser otimizada	56
Figura 3.14	Primeira e última fileira dos elementos de cola desconsiderados durante a verificação da tensão equivalente de Von Mises: ligação cavilhada e espigada	58
Figura 3.15	Fluxograma do processo de otimização global	58
Figura 3.16	Foto do conjunto-aluno idealizado pela UEMG	61
Figura 3.17	Foto do conjunto-aluno modificado	61
Figura 3.18	Dimensões do conjunto-aluno modificado em mm (planta, elevação frontal e lateral e perspectiva da cadeira e mesa escolar)	62
Figura 3.19	Posicionamento dos DT's na cadeira e na mesa	63
Figura 3.20	Instrumentação dos protótipos	65
Figura 3.21	Configuração geral do ensaio de carga estática no assento da cadeira	66
Figura 3.22	Configuração geral do ensaio de carga estática no encosto da cadeira	66
Figura 3.23	Configuração geral do ensaio de carregamento dinâmico no assento da cadeira	67
Figura 3.24	Configuração geral do ensaio de carregamento dinâmico no encosto da cadeira	67
Figura 3.25	Configuração geral do ensaio de resistência ao esforço frontal em uma perna da cadeira	68
Figura 3.26	Configuração geral do ensaio de impacto no assento da cadeira	68
Figura 3.27	Configuração geral do ensaio de impacto no encosto da cadeira	69
Figura 3.28	Configuração geral do ensaio das ponteiros dos pés da cadeira	69

Figura 3.29	Configuração geral do ensaio de apoio para os pés da cadeira	69
Figura 3.30	Configuração geral do ensaio de carga estática vertical da mesa	70
Figura 3.31	Configuração geral do ensaio de carga estática horizontal da mesa	71
Figura 3.32	Configuração geral do ensaio de impacto vertical da mesa	71
Figura 3.33	Configuração geral do ensaio de fadiga horizontal da mesa	72
Figura 4.1	Curva carga x deslocamento – verificação do comportamento ideal de uma ligação dúctil	74
Figura 4.2	Exemplos de gráficos carga-deslocamento dos ensaios realizados	75
Figura 4.3	Gráfico Momento x Rotação do ensaio de flexão com a ligação espigada, amostra C, adesivo: PVA, madeira: <i>E. cloeziana</i>	76
Figura 4.4	Gráfico Momento x Rotação do ensaio de flexão com a ligação cavilhada, amostra L, adesivo: cascamite, madeira: <i>E. grandis</i>	77
Figura 4.5	Gráfico carga de ruptura versus comprimento de embutimento da cavilha, madeira: <i>E. grandis</i> e <i>E. cloeziana</i>	90
Figura 4.6	Gráfico carga no limite de proporcionalidade versus comprimento de embutimento da cavilha, madeira: <i>E. grandis</i> e <i>E. cloeziana</i>	91
Figura 4.7	Gráfico rigidez rotacional versus comprimento de embutimento da cavilha, madeira: <i>E. grandis</i> e <i>E. cloezian</i>	94
Figura 4.8	Gráfico carga de ruptura versus comprimento de embutimento da espiga, altura: 3,25 cm	99
Figura 4.9	Gráfico carga de ruptura versus altura da espiga, comprimento: 1,75cm	99
Figura 4.10	Gráfico carga no limite de proporcionalidade versus comprimento de embutimento da espiga, altura: 3,25cm	100
Figura 4.11	Gráfico carga no limite de proporcionalidade versus altura da espiga, comprimento: 1,75 cm	100
Figura 4.12	Gráfico rigidez rotacional versus altura da espiga, comprimento: 1,75 cm	103
Figura 4.13	Gráfico rigidez rotacional versus comprimento de embutimento da espiga, altura: 3,25 cm	103

Figura 4.14	Ruptura da cavilha	104
Figura 4.15	Ruptura no lado superior do montante e rachadura paralela às fibras da travessa	105
Figura 4.16	Ruptura da travessa e ruptura no lado superior do montante em ligações espigadas	105
Figura 4.17	Rachaduras paralelas às fibras do montante na parte inferior e superior	106
Figura 4.18	Esmagamento no lado inferior da travessa (ocorrido em vários CPs)	106
Figura 4.19	Dimensões das ligações da cadeira	109
Figura 4.20	Gráfico deslocamento x tempo. DTs - cadeira 1 - ensaio 6.4.1	114
Figura 4.21	Gráfico deslocamento x tempo. DTs - cadeira 2 - ensaio 6.4.1	114
Figura 4.22	Gráfico deslocamento x tempo. DTs - cadeira 3 - ensaio 6.4.1	115
Figura 4.23	Gráfico carga x tempo. Células de carga -cadeira 1- ensaio 6.4.1	115
Figura 4.24	Gráfico carga x tempo. Células de carga -cadeira 2- ensaio 6.4.1	116
Figura 4.25	Gráfico carga x tempo. Células de carga -cadeira 3- ensaio 6.4.1	116
Figura 4.26	Gráfico deformação x tempo. Extensômetros -cadeira 1- ensaio 6.4.1	117
Figura 4.27	Gráfico deformação x tempo. Extensômetros -cadeira 2- ensaio 6.4.1	117
Figura 4.28	Gráfico deformação x tempo. Extensômetros -cadeira 3- ensaio 6.4.1	118
Figura 4.29	Gráfico deslocamento x tempo. DTs -cadeira 1- ensaio 6.4.2	121
Figura 4.30	Gráfico deslocamento x tempo. DTs -cadeira 2- ensaio 6.4.2	122
Figura 4.31	Gráfico deslocamento x tempo. DTs -cadeira 3- ensaio 6.4.2	122
Figura 4.32	Gráfico carga x tempo. Células de carga -cadeira 1- ensaio 6.4.2	123
Figura 4.33	Gráfico carga x tempo. Células de carga -cadeira 2- ensaio 6.4.2	123
Figura 4.34	Gráfico carga x tempo. Células de carga -cadeira 3- ensaio 6.4.2	124
Figura 4.35	Gráfico deformação x tempo. Extensômetros -cadeira 1- ensaio 6.4.2	124
Figura 4.36	Gráfico deformação x tempo. Extensômetros -cadeira 2- ensaio	

	6.4.2	125
Figura 4.37	Gráfico deformação x tempo. Extensômetros -cadeira 3- ensaio 6.4.2	125
Figura 4.38	Gráficos deslocamento x tempo: detalhe do início e fim do ensaio DTs - cadeira 1 - ensaio 6.4.3	128
Figura 4.39	Gráfico deslocamento x tempo: panorama geral do ensaio DTs - cadeira 2 - ensaio 6.4.3	129
Figura 4.40	Gráfico deslocamento x tempo: panorama geral do ensaio DTs - cadeira 3 - ensaio 6.4.3	129
Figura 4.41	Gráficos carga x tempo: detalhe do início e fim do ensaio. Células de carga - cadeira 1 - ensaio 6.4.3	130
Figura 4.42	Gráfico carga x tempo: detalhe trecho inicial. Células de carga - cadeira 2 - ensaio 6.4.3	130
Figura 4.43	Gráfico carga x tempo: detalhe trecho do meio. Células de carga - cadeira 3 - ensaio 6.4.3	131
Figura 4.44	Gráficos deformação x tempo: detalhe do início e fim do ensaio Extensômetros - cadeira 1 - ensaio 6.4.3	131
Figura 4.45	Gráfico deformação x tempo: detalhe do início e fim do ensaio Extensômetros - cadeira 2 - ensaio 6.4.3	132
Figura 4.46	Gráfico deformação x tempo: panorama geral do ensaio Extensômetros - cadeira 3 - ensaio 6.4.3	132
Figura 4.47	Gráfico deslocamento x tempo: detalhe do início do ensaio. DTs - cadeira 1 - ensaio 6.4.4	135
Figura 4.48	Gráfico deslocamento x tempo: panorama geral. DTs - cadeira 2 - ensaio 6.4.4	136
Figura 4.49	Gráfico deslocamento x tempo: panorama geral. DTs - cadeira 3 - ensaio 6.4.4	136
Figura 4.50	Gráfico carga x tempo: detalhe leitura sem e com falhas. Células de carga - cadeira 1 - ensaio 6.4.4	137
Figura 4.51	Gráfico carga x tempo: panorama geral. Células de carga - cadeira 2 - ensaio 6.4.4	137

Figura 4.52	Gráfico carga x tempo: panorama geral e detalhe das falhas Células de carga – cadeira 3 – ensaio 6.4.4	138
Figura 4.53	Gráfico deformação x tempo: detalhe do início do ensaio. Extensômetros – cadeira 1 – ensaio 6.4.4	138
Figura 4.54	Gráfico deformação x tempo: panorama geral. Extensômetros - cadeira 2 - ensaio 6.4.4	139
Figura 4.55	Gráfico deformação x tempo: panorama geral. Extensômetros - cadeira 3 - ensaio 6.4.4	139
Figura 4.56	Gráfico deformação x tempo: panorama geral. Extensômetros - cadeira 1- ensaio 6.4.5 parte 1	142
Figura 4.57	Gráfico deformação x tempo: panorama geral. Extensômetros - cadeira2 - ensaio 6.4.5 parte 1	142
Figura 4.58	Gráfico deformação x tempo: panorama geral. Extensômetros - cadeira 3 - ensaio 6.4.5 parte 2	143
Figura 4.59	Gráfico carga x tempo: 4º impacto. Células de carga - cadeira 1 - ensaio 6.4.6	145
Figura 4.60	Gráfico carga x tempo: panorama geral. Células de carga - cadeira 2 - ensaio 6.4.6	145
Figura 4.61	Gráfico carga x tempo. Células de carga - cadeira 3 - ensaio 6.4.6	146
Figura 4.62	Gráfico deformação x tempo: 4º impacto. Extensômetros - cadeira 1 - ensaio 6.4.6	146
Figura 4.63	Gráfico deformação x tempo: panorama geral. Extensômetros - cadeira 2 - ensaio 6.4.6	147
Figura 4.64	Gráfico deformação x tempo. Extensômetros - cadeira 3 - ensaio 6.4.6	147
Figura 4.65	Gráfico deformação x tempo: panorama geral. Extensômetros - cadeira 1 - ensaio 6.4.7	153
Figura 4.66	Gráfico deformação x tempo. Extensômetros - cadeira 2 - ensaio 6.4.7	154
Figura 4.67	Gráfico deformação x tempo. Extensômetros - cadeira 3 - ensaio 6.4.7	154

Figura 4.68	Afrouxamento da ligação cavilhada da trava posterior do assento com o pé esquerdo - cadeira 2	158
Figura 4.69	Afrouxamento da ligação cavilhada entre a perna frontal direita e a trava do assento - cadeira 3	159
Figura 4.70	Gráfico deformação x tempo: panorama geral. Extensômetros - cadeira 1 - ensaio 6.4.10	160
Figura 4.71	Gráfico deformação x tempo: panorama geral. Extensômetros - cadeira 2 - ensaio 6.4.10	161
Figura 4.72	Afrouxamento da ligação cavilhada entre a perna posterior direita e a trava lateral do assento - cadeira 2	162
Figura 4.73	Gráfico deformação x tempo. Extensômetros - cadeira 1 - ensaio 6.4.11	163
Figura 4.74	Gráfico deslocamento x tempo: panorama geral. DT e extensômetros - mesa 1 - ensaio 6.3.1	165
Figura 4.75	Gráfico deslocamento x tempo: panorama geral. DT e extensômetros - mesa 2 - ensaio 6.3.1	165
Figura 4.76	Gráfico carga x tempo. Células de carga - mesa 1 - ensaio 6.3.1	166
Figura 4.77	Gráfico carga x tempo. Células de carga - mesa 2 - ensaio 6.3.1	166
Figura 4.78	Definição dos lados a, b, c e d de aplicação de carga na mesa	168
Figura 4.79	Gráfico deslocamento x tempo: panorama geral. DT e extensômetros - mesa 1 - ensaio 6.3.3 lado a	169
Figura 4.80	Gráfico deslocamento x tempo: panorama geral. DT e extensômetros - mesa 1 - ensaio 6.3.3 lado b	170
Figura 4.81	Gráfico deslocamento x tempo: panorama geral. DT e extensômetros - mesa 1 - ensaio 6.3.3 lado c	170
Figura 4.82	Gráfico deslocamento x tempo: panorama geral. DT e extensômetros - mesa 1 - ensaio 6.3.3 lado d	171
Figura 4.83	Gráfico deslocamento x tempo: panorama geral. DT e extensômetros - mesa 2 - ensaio 6.3.3 lado a	171
Figura 4.84	Gráfico deslocamento x tempo: panorama geral. DT e extensômetros - mesa 2 - ensaio 6.3.3 lado b	172

Figura 4.85	Foto da mesa 02 antes e após ensaio 6.3.3	174
Figura 4.86	Gráfico deformação x tempo. DTs e extensômetros - mesa 1 - ensaio 6.3.4a	176
Figura 4.87	Gráfico carga x tempo. Células de carga - mesa 1 - ensaio 6.3.4a	176
Figura 4.88	Gráfico deformação x tempo. DTs e extensômetros - mesa 1 - ensaio 6.3.4b	177
Figura 4.89	Gráfico carga x tempo. Células de carga - mesa 1 - ensaio 6.3.4b	177
Figura 4.90	Gráfico deformação x tempo. Extensômetros - mesa 1 - ensaio 6.3.6	182
Figura A.1	Exemplos de mobiliário encontrados nas salas de aula da escola estudada	212
Figura A.2	Esquema dos ciclos de formação da Escola Plural	215
Figura A.3	Estrutura vertical	220
Figura A.4	Aspecto geral de uma sala de aula	223
Figura A.5	Mesa com porta objetos baixo e cadeira com assento baixo	224
Figura A.6	Observação de mudança de postura	225
Figura A.7	Visibilidade de um aluno que senta na última carteira da fila	225
Figura A.8	Observação de mudança de postura (1) ou de posição da carteira (2) para enxergar melhor o que está escrito do quadro negro	226
Figura A.9	Variações de postura do aluno de chapéu e da aluna com camisa branca (foco 2)	230
Figura B.1	Foto do protótipo – desenho inicial	223
Figura B.2	Fotos do Ensaio de Usabilidade	243
Figura B.3	Rupturas no encosto da cadeira ocorrido no ensaio de queda	245
Figura B.4	Afrouxamento de ligações ocorridas no apóia-pé da cadeira, Na trava do assento e afrouxamento no tampo da mesa	246
Figura B.5	Foto do conjunto-aluno modificado	246

## Lista de Tabelas

TABELA 3.1	Dimensões dos CPs usados nos ensaios de flexão com espiga	44
TABELA 3.2	Dimensões dos CPs usados nos ensaios de flexão com cavilha	44
TABELA 3.3	Espaçamentos entre cavilhas	45
TABELA 3.4	Valores médios de coeficientes de Poisson de madeiras brasileiras	51
TABELA 3.5	Limites e tolerância dos parâmetros de otimização da ligação cavilhada	57
TABELA 3.6	Limites e tolerância dos parâmetros de otimização da ligação espigada	57
TABELA 4.1	Resultados dos ensaios com cavilha em peças de E. grandis	78
TABELA 4.2	Resultados dos ensaios com cavilha em peças de E. cloeziana	79
TABELA 4.3	Resultados dos ensaios com espiga em peças de E. grandis	80
TABELA 4.4	Resultados dos ensaios com espiga em peças de E. cloeziana	81
TABELA 4.5	Valores de ajuste para cálculo do momento de ruptura $M_r$ da ligação cavilhada	86
TABELA 4.6	Valores de ajuste para cálculo do momento no limite de proporcionalidade $M_{lp}$ da ligação cavilhada	86
TABELA 4.7	Regressão: carga de ruptura ( $C_r$ ) x diâmetro da cavilha ( $D$ ) x comprimento de embutimento da cavilha ( $L$ ) x resistência à compressão paralela da madeira usada na peça ( $f_{c,0}$ )	87
TABELA 4.8	Regressão: carga no limite de proporcionalidade ( $C_{lp}$ ) x diâmetro da cavilha ( $D$ ) x comprimento de embutimento da cavilha ( $L$ ) x resistência à compressão paralela da madeira usada na peça ( $f_{c,0}$ )	89
TABELA 4.9	Valores de ajuste para cálculo da rigidez rotacional $R_r$ da ligação cavilhada	92
TABELA 4.10	Regressão: rigidez rotacional da ligação cavilhada ( $RR$ ) x diâmetro da cavilha ( $D$ ) x comprimento de embutimento da cavilha ( $L$ ) x resistência à compressão paralela da madeira usada na peça ( $f_{c,0}$ )	93

TABELA 4.11	Valores de ajuste para cálculo do momento de ruptura MR da ligação espigada	96
TABELA 4.12	Valores de ajuste para cálculo do momento no limite de proporcionalidade MLP da ligação espigada	96
TABELA 4.13	Regressão: carga de ruptura ( $C_r$ ) x altura do pino ( $H$ ) x comprimento de embutimento do pino ( $L$ ) x resistência à compressão paralela da madeira usada na peça ( $f_{c,0}$ )	97
TABELA 4.14	Regressão: carga no limite de proporcionalidade ( $C_{lp}$ ) x altura do pino ( $H$ ) x comprimento de embutimento do pino ( $L$ ) x resistência à compressão paralela da madeira usada na peça ( $f_{c,0}$ )	98
TABELA 4.15	Valores de ajuste para cálculo do momento de ruptura MR da ligação espigada	101
TABELA 4.16	Regressão: rigidez rotacional da ligação espigada ( $RR$ ) x altura do pino ( $H$ ) x comprimento de embutimento do pino ( $L$ ) x resistência à compressão paralela da madeira usada na peça ( $f_{c,0}$ )	102
TABELA 4.17	Valores de ajuste para o módulo de elasticidade $E$ do material de interface	107
TABELA 4.18	Comparação dos resultados experimentais e numéricos da ligação cavilhada, madeira <i>E. grandis</i> , adesivo PVA e Cascamite	107
TABELA 4.19	Comparação dos resultados experimentais e numéricos da ligação cavilhada, madeira <i>E. cloeziana</i> , adesivo PVA e Cascamite	108
TABELA 4.20	Comparação dos resultados experimentais e numéricos da ligação espigada, madeira <i>E. grandis</i> , adesivo PVA e Cascamite	108
TABELA 4.21	Comparação dos resultados experimentais e numéricos da ligação espigada, madeira <i>E. cloeziana</i> , adesivo PVA e Cascamite	108

TABELA 4.22	Valores das variáveis de projeto, de estado e da função objetivo ao longo das iterações	110
TABELA 4.23	Valores médios dos deslocamentos - DTs - Ensaio 6.4.1	119
TABELA 4.24	Valores médios e total de carga -Células de carga - Ensaio 6.4.1	119
TABELA 4.25	Valores médios da deformação e de tensão - Extensômetros - Ensaio 6.4.1	119
TABELA 4.26	Valores médios dos deslocamentos - DTs - Ensaio 6.4.2	126
TABELA 4.27	Valores médios e total de carga com e sem a aplicação da carga horizontal – Células de carga - Ensaio 6.4.2	126
TABELA 4.28	Valores médios da deformação e de tensão - Extensômetros - Ensaio 6.4.2	127
TABELA 4.29	Valores médios dos deslocamentos - DTs - Ensaio 6.4.3	133
TABELA 4.30	Valores médios e total de carga -Células de carga-Ensaio 6.4.3	133
TABELA 4.31	Valores médios da deformação e de tensão - Extensômetros - Ensaio 6.4.3	133
TABELA 4.32	Valores médios dos deslocamentos - DTs - Ensaio 6.4.4	140
TABELA 4.33	Valores médios e total de carga - Células de carga – Ensaio 6.4.4	140
TABELA 4.34	Valores médios da deformação e de tensão - Extensômetros - Ensaio 6.4.4	140
TABELA 4.35	Valores médios da deformação e de tensão - Extensômetros - Ensaio 6.4.5 parte 1	143
TABELA 4.36	Valores parciais e somatório total de carga no impacto - Células de carga - Ensaio 6.4.6	148
TABELA 4.37	Valores da deformação e de tensão no impacto - Extensômetros - Ensaio 6.4.6	149
TABELA 4.38	Valores médios da deformação e de tensão - Extensômetros - Ensaio 6.4.7	155
TABELA 4.39	Valores médios da deformação e de tensão - Extensômetros - Ensaio 6.4.10	161

TABELA 4.40	Valores médios da deformação e de tensão - Extensômetros - Ensaio 6.4.11	163
TABELA 4.41	Valores máximo dos deslocamentos - DTs - Ensaio 6.3.1	167
TABELA 4.42	Valores médios e total de carga -Células de carga- Ensaio 6.3.1	167
TABELA 4.43	Valores médios da deformação e de tensão - Extensômetros - Ensaio 6.3.1	167
TABELA 4.44	Valores médios dos deslocamentos - DTs - Ensaio 6.3.3 lado a	172
TABELA 4.45	Valores médios da deformação e de tensão - Extensômetros - Ensaio 6.3.3 lado a	172
TABELA 4.46	Valores médios dos deslocamentos - DTs - Ensaio 6.3.3 lado b	173
TABELA 4.47	Valores médios da deformação e de tensão - Extensômetros - Ensaio 6.3.3 lado b	173
TABELA 4.48	Valores médios dos deslocamentos - DTs - Ensaio 6.3.3 lado c	173
TABELA 4.49	Valores médios da deformação e de tensão - Extensômetros - Ensaio 6.3.3 lado c	173
TABELA 4.50	Valores médios dos deslocamentos - DTs - Ensaio 6.3.3 lado d	174
TABELA 4.51	Valores médios da deformação e de tensão - Extensômetros - Ensaio 6.3.3 lado d	174
TABELA 4.52	Valores médios dos deslocamentos - DTs - Ensaio 6.4.4a (mesa 01 espiga)	178
TABELA 4.53	Valores médios da deformação e de tensão - Extensômetros - Ensaio 6.4.4a	178
TABELA 4.54	Valores parciais e somatório total de carga no impacto - Células de carga - Ensaio 6.4.4a	179
TABELA 4.55	Valores médios dos deslocamentos - DTs - Ensaio 6.4.4b (mesa 01 espiga)	179
TABELA 4.56	Valores médios da deformação e de tensão - Extensômetros - Ensaio 6.4.4b	180
TABELA 4.57	Valores parciais e somatório total de carga no impacto - Células de carga - Ensaio 6.4.4b	180

TABELA 4.58 Valores médios da deformação e de tensão - Extensômetros - Ensaio 6.3.6	182
TABELA 4.59 Sugestão para determinação das forças de ensaio em cadeiras e mesas escolares	185
TABELA B.1 Protocolo utilizado na análise dos ensaios	237
TABELA B.2 Protocolo utilizado na análise das entrevistas	238
TABELA B.3 Avaliação das dimensões da cadeira escolar (dimensões em mm)	243
TABELA B.4 Avaliação das dimensões da mesa escolar (dimensões em mm)	244
TABELA B.5 Avaliação da resistência mecânica e estabilidade da mesa escolar	244
TABELA B.6 Avaliação da resistência mecânica e estabilidade da cadeira escolar	245
TABELA B.7 Modificações da cadeira escolar	247
TABELA B.8 Modificações da mesa escolar	248
TABELA C.1 Resultados dos ensaios com cavilha em peças de <i>E. grandis</i>	251
TABELA C.2 Resultados dos ensaios com cavilha em peças de <i>E. cloeziana</i>	255
TABELA C.3 Resultados dos ensaios com espiga em peças de <i>E. grandis</i>	259
TABELA C.4 Resultados dos ensaios com espiga em peças de <i>E. cloeziana</i>	261
TABELA C.5 Estudo comparativo entre força de arrancamento experimental e calculada através da equação (1) Eckelman (1969)	262
TABELA C.6 Estudo comparativo entre momento de ruptura na flexão $M_r$ e a calculada através das equações (2) e (3), idealizadas por Eckelman (1971b) e através da equação (4) de Zhang, Quin e Tackett (2001) – valores médios	264
TABELA C.7 Estudo comparativo entre o momento ( $M$ ) experimental e o calculado através da equação (7), Hill e Eckelman (1973b)	266
TABELA C.8 Estudo comparativo entre momento experimental e calculado através da equação (8) Erdil, Kasal e Eckelman (2005)	272
TABELA C.9 Estudo comparativo entre $M_R$ experimental e calculado e entre $M_{lp}$ experimental e calculado	277

TABELA C.10 Estudo comparativo entre o deslocamento experimental e numérico – ligações cavilhadas	282
TABELA C.11 Estudo comparativo entre o deslocamento experimental e numérico – ligações espigadas	291

## RESUMO

O objetivo geral deste estudo é a avaliação do comportamento estrutural do mobiliário escolar, quando submetido aos ensaios propostos pela norma NBR 14006/2003 - Móveis escolares - Assentos e mesas para conjunto-aluno de instituições educacionais, com especial ênfase à avaliação da resistência desses móveis, à compreensão das características do material utilizado (*Eucalyptus grandis*) e ao entendimento do desempenho das ligações usadas.

Avaliou-se as dimensões adotadas (influência do diâmetro e o comprimento de embutimento da cavilha e da altura e comprimento de embutimento da espiga), o material usado (influência das propriedades físicas e mecânicas das madeiras de reflorestamento *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus cloeziana*) e do tipo de adesivo adotado - PVA e Cascamite.

Os resultados indicaram que com o aumento do comprimento de embutimento da cavilha ocorre um aumento da resistência e rigidez dessa ligação, e que o aumento do comprimento de embutimento e da altura da espiga acarreta um aumento da resistência e rigidez dessa ligação.

Foram apresentadas equações de regressão para o cálculo do momento de ruptura, do momento no limite de proporcionalidade e da rigidez rotacional das ligações cavilhadas e espigadas, além de ter sido realizada a análise numérica do comportamento e otimização dessas duas ligações.

Por fim, foi realizada a avaliação da estrutura de móveis escolares quando submetida às ações propostas nos ensaios de resistência e durabilidade da NBR 14006/2003.

Todo esse processo visou garantir a maior durabilidade e segurança no uso dos móveis escolares, contribuindo para o crescimento da indústria moveleira nacional.

## ABSTRACT

The main objective of this study is the evaluation of school furniture structural behavior when submitted to loads from NBR 14006/2003. Special emphasis was given to the evaluation of these furniture resistance, to the characteristics understanding of the used material (*Eucalyptus grandis*) and performance of the joints.

The adopted joints' dimensions (influence of the diameter and the length of dowel joints and the height and length of the mortise and tenon joints) were evaluated, as well as the used material (physical and mechanical properties of *Eucalyptus grandis* and *Eucalyptus cloeziana* influence) and adopted adhesive - PVA and Cascamite.

It could be evidenced that with the increase of dowel length occurs an increase on the joint resistance and stiffness; and that the increase of the mortise and tenon length or height causes an increase on the resistance and stiffness of this joint.

Empirical models for the calculation of ultimate moment, yield moment and rotational stiffness of these joints were presented, as well as the numerical analysis of their behavior.

Finally, the evaluation of a school furniture structure when submitted to the loads proposed in the NBR 14006/2003 resistance and durability tests was set.

All this study aimed to guarantee the school furniture durability and use security, contributing to the national furniture industry growth.

# 1

## INTRODUÇÃO

O Brasil apresenta uma pequena representatividade junto à comunidade moveleira internacional. Segundo Rigoni (2001), a indústria brasileira de móveis está se atualizando tecnologicamente, investindo cada vez mais em design e com uma preocupação crescente: a qualidade dos produtos.

As estatísticas mineiras do setor moveleiro são bastante expressivas, o que confirma sua tradição e seu potencial para esse tipo de indústria, e a indústria de móveis escolares não caminha tão diferente das demais. Na verdade, os produtos desenvolvidos pela indústria de móveis escolares estão cada vez mais elaborados, tanto do ponto de vista ergonômico, de agilidade do processo de fabricação, de manutenção, de distribuição, quanto econômico.

Móvel escolar é definido pela NBR 14006/2003 como conjunto-aluno, mobiliário composto por dois elementos independentes: a mesa e a cadeira do aluno. A mesa é constituída de tampo, estrutura e porta-objeto; a cadeira é constituída de assento, encosto e estrutura.

Visando promover a adequação e a melhoria desses produtos, em agosto de 2002, o Ministério da Educação e Cultura publicou a Portaria 2.269 informando que, a partir de dezembro de 2002, todas as compras de conjunto-aluno para o ensino fundamental, com recursos do FUNDESCOLA, teriam que obrigatoriamente atender às especificações da Portaria nº 177 - Regulamento Técnico da Qualidade (RTQ) para Móveis Escolares do Inmetro.

De acordo com esse regulamento, o fabricante deveria levar em consideração os requisitos fundamentais para a produção do conjunto-aluno, conforme aspectos ergonômicos, de estabilidade, de resistência, além de acabamento e de classificação. Entretanto, essa portaria foi revogada em 10 de setembro de 2004, ficando suspensa a sua aplicabilidade, e substituída pela NBR 14006/2003 - Móveis escolares - Assentos e mesas para conjunto-aluno de instituições educacionais.

Recentemente, a norma técnica NBR 14006/2003 foi atualizada com o objetivo de propiciar adequado grau de confiança para que o produto, neste caso o móvel escolar, consiga atender aos requisitos de qualidade e adequação ao uso, com o menor custo possível para a sociedade. Em 21/01/2008, foi publicada a NBR 14006/2008.

Percebe-se, então, que existe um resgate do design de móveis escolares, enfatizando a importância da ergonomia, aqui definida como interciência responsável pelo ajuste e adequação de produtos, equipamentos, procedimentos e espaços às necessidades e aptidões humanas, e da avaliação estrutural de móveis.

De maneira a justificar a escolha do mobiliário escolar como objeto de estudo e entender os motivos do alto índice de degradação deste, foi realizada uma avaliação do mobiliário de escolas da rede pública de ensino, a partir da análise ergonômica do trabalho. Essa abordagem possui como foco a atividade, nesse caso o estudar, que é percebida como o eixo central de produção e é delimitada pelo sujeito, pela tecnologia (mobiliário) e

organização (meio físico, social, econômico e administrativo). Este estudo encontra-se detalhado no anexo A.

Entretanto, tem-se percebido que, em termos de avaliação estrutural de móveis, o Brasil está apenas começando e que o não-conhecimento dessas questões retarda de maneira significativa a evolução e a consolidação efetiva do móvel brasileiro junto a questões referentes à qualidade e aos fatores econômicos.

O estudo desenvolvido durante a dissertação de mestrado “Análise biomecânica da estrutura de cadeiras de madeira” conseguiu demonstrar que a análise estrutural de móveis é necessária; e a norma NBR 14006/2003 e as atualizações da NBR 14006/2008 são importantes passos para o desenvolvimento de propostas de avaliação da conformidade desses móveis.

**Compreender a estrutura dos móveis escolares, de maneira a conhecer melhor seu comportamento quando submetida às ações propostas pela norma brasileira, é o foco neste estudo.**

Foi importante avaliar as ligações usuais utilizadas pela indústria moveleira, tendo sido necessária uma adequada compreensão dos mecanismos e dos processos de ruptura procedentes. Para isso, foram realizados ensaios em ligações com espiga e cavilhas e avaliados os valores da rigidez rotacional, da carga de ruptura e da carga no limite de proporcionalidade encontrados. Uma vez analisado o comportamento das ligações, foi realizado seu modelamento numérico, refletindo sobre o processo experimental adotado e verificando matematicamente o modelo utilizado, buscando, assim, sua otimização.

Todo esse processo visou, por fim, garantir a maior durabilidade e segurança no uso dos móveis escolares, contribuindo para o crescimento da indústria moveleira nacional.

## 1.1 Objetivos

**Apresenta-se, como objetivo geral, a avaliação do comportamento estrutural do mobiliário escolar, quando submetido aos ensaios propostos pela norma NBR 14006/2003 - Móveis escolares - Assentos e mesas para conjunto-aluno de instituições educacionais. Dar-se-á especial ênfase à avaliação da resistência desses móveis, à compreensão das características do material utilizado (*Eucalyptus grandis*) e ao entendimento do desempenho das ligações usadas.**

Para isso, o presente trabalho concentrou-se nos seguintes objetivos específicos:

- Avaliar experimentalmente a resistência e a rigidez de dois tipos de ligações usualmente empregados na fabricação de móveis de madeira - cavilha e espiga - em função de:
  - . dimensões adotadas (influência do diâmetro e o comprimento de embutimento da cavilha e da altura e comprimento de embutimento da espiga), e
  - . material usado (influência das propriedades físicas e mecânicas das madeiras de reflorestamento *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus cloeziana* e do tipo de adesivo adotado - PVA e Cascamite;
- Propor as equações empíricas para cálculo do momento de ruptura, do momento no limite de proporcionalidade e da rigidez rotacional das ligações cavilhadas e espigadas;
- Avaliar numericamente o comportamento das ligações, visando à sua otimização.

**Com este estudo, espera-se obter uma correta avaliação da normalização em vigor e o entendimento das ligações usuais em móveis de madeira, visando contribuir para a melhoria do desempenho dos elementos de ligação e o aumento da confiabilidade da estrutura e da qualidade dos móveis escolares de madeira.**

## 1.2. Estrutura do Trabalho

A partir da definição do problema e dos objetivos (geral e específicos) da pesquisa, esta foi estruturada da seguinte maneira.

O **capítulo 2** trata da Revisão de Literatura, no qual são realizadas algumas considerações sobre design de objetos, em específico sobre a elaboração de projetos para mobiliário escolar. Esse capítulo apresenta também uma breve introdução sobre o *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus cloeziana*, materiais aqui escolhidos como matéria-prima base para desenvolvimento dos protótipos a serem executados, além do estudo das ligações utilizadas em móveis de madeira, em especial a avaliação da espiga e da cavilha. Por fim, apresentam-se as principais normas de avaliação da estrutura de móveis escolares.

O **capítulo 3** se estrutura na apresentação dos Materiais e Métodos aqui utilizados e estabelecidos, além da exposição do protótipo adotado. A avaliação experimental detalha a metodologia proposta para entendimento das ligações com espigas e cavilhas além dos ensaios estabelecidos pela NBR 14006/2003 e as atualizações da NBR 14006/2008. A avaliação numérica, por meio de uma análise com o emprego do método dos elementos finitos, avalia as ligações estudadas e inicia o estudo de otimização dessas ligações.

No **capítulo 4**, apresentam-se os resultados obtidos nas avaliações experimentais, análises estatísticas e modelagens numéricas, além de discussões acerca de todos os dados coletados.

No **capítulo 5**, estão as conclusões consideradas adequadas em relação aos objetivos propostos. Além disso, comentários finais e sugestões para trabalhos complementares também são apresentados.

No **anexo A**, está a análise ergonômica do mobiliário escolar existente em uma escola pública, avaliação importante para o entendimento da ligação entre as posturas adotadas, a atividade exercida, o lugar no qual acontece essa atividade, o contexto no qual esta se desenvolve e os alunos, e a influência de todos esses fatores no ato de estudar.

O **anexo B** apresenta o redesenho do mobiliário escolar a partir dos ensaios de usabilidade, em uma situação real, e de resistência em acordo com a NBR 14006/2003.

No **anexo C**, encontram-se os resultados completos dos ensaios de flexão com cavilha e espiga e dos ensaios de arrancamento das cavilhas.

# 2

## REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Neste capítulo serão abordadas, primeiramente, considerações sobre o design de objetos, em especial o mobiliário escolar. Será realizada uma análise sobre o uso da madeira de reflorestamento como matéria-prima na fabricação de móveis escolares e, posteriormente, serão expostos estudos sobre as ligações utilizadas em móveis de madeira, em especial sobre a avaliação de espigas e cavilhas. Por fim, serão apresentadas normas de conjunto-aluno para instituições educacionais, em especial a NBR 14006/2003.

### 2.1 Considerações sobre o Design de Móveis Escolares

São muitas as definições existentes sobre a palavra design, como também é infinitamente variada e, portanto, difícil de resumir a natureza exata desse processo. Redig (1977) adota o termo desenho industrial como aquele que identifica a atividade design. Segundo esse autor,

desenho industrial (design) é o equacionamento simultâneo de fatores ergonômicos, perceptivos, antropológicos, tecnológicos,

econômicos e ecológicos, no projeto dos elementos e estruturas físicas necessárias à vida, ao bem-estar, e/ou à cultura do homem. (Redig, 1977: p.32)

O que pode ser afirmado é que a produção do desenho industrial baseia-se em uma complexa rede de conhecimentos com o objetivo de atender às necessidades humanas. Portanto, a concepção de objetos perpassa por aspectos culturais e sócio-econômicos; viabilidade técnica; exigências de utilidade e durabilidade; facilidade de fabricação, reprodução, manutenção e reposição; economia de materiais; além da discussão da atribuição de valores e funções simbólicas, educativas, estéticas e éticas.

Dessa maneira, o projeto de um produto deve compreender em si a consciência de todas as condições técnicas inerentes à sua realização e a matéria que irá empregar deve implicar a correspondência do objeto a todas as exigências práticas a que deve servir (Argan, 2001: p.121).

O objeto de design, de acordo com Costa, F. (2004), é o instrumento mediador entre o sujeito e o espaço, transformador da realidade que afeta o modo de apropriação do mundo pelo homem. No caso do design de móveis escolares, as cadeiras e as mesas estabelecem uma relação própria com os alunos, provocando uma experiência e uma percepção constituída pelo contato. Os professores as utilizam como determinantes dos procedimentos didáticos adotados e a mudança espacial reflete sempre em uma mudança no processo de aprendizagem.

Dessa maneira, o mobiliário escolar integra o próprio sistema educacional e torna-se um apoio inestimável à eficiência dos métodos pedagógicos praticados, não podendo ser deixado ao acaso das improvisações e da oferta espontânea, exclusiva do mercado moveleiro.

Qualquer que seja a estratégia escolhida no desenvolvimento de móveis escolares, devem ser levados em consideração os seguintes aspectos (Ministério da Educação e do Desporto, 1998: p.26 a 28):

- entender e antecipar as necessidades e desejos dos usuários, ou seja, atender às exigências das atividades pedagógicas e dos usos atuais, sendo flexível e versátil, desempenhando corretamente as funções diárias relativas às atividades de ensino e aprendizagem;
- contribuir para o incremento do desenvolvimento econômico e social;
- melhorar a apresentação e a qualidade<sup>1</sup> de seus produtos, ou seja, seu valor agregado;
- desenvolver e empregar novos métodos de fabricação e introduzir processos produtivos e tecnologias que não agredam a riqueza ecológica que caracteriza o país e sua qualidade de vida;
- propiciar uma consciência popular acerca da importância da valorização de produtos com as matérias-primas adequadas e corretas, dentro do ponto de vista econômico-comercial, ecológico e cultural do país;
- relacionar a produção dos equipamentos, preferencialmente, com as disponibilidades técnicas e materiais de cada momento, sendo desejável que o mobiliário seja produzido na própria região da rede física escolar, aplicando componentes e mão-de-obra locais;
- caso não seja possível articular o item anterior, pensar na logística de distribuição dos equipamentos, estabelecendo métodos de suprimento e de estocagem dos objetos;
- estabelecer e empregar novos métodos de manutenção preventiva, dentro de um prazo de vida útil economicamente viável para as condições normais de uso.

Percebe-se, então, que

a abrangência do design não se dá apenas no produto acabado, mas em todo o processo, desde a concepção do produto, tendências futuras, modo de vida, costumes, novas crenças, que o mundo em constante mudança e evolução exige, para o

---

<sup>1</sup> Esse aspecto deve ser entendido como a totalidade das características que conferem a um produto a capacidade de satisfazer as necessidades implícitas ou explícitas.

desenvolvimento do homem, em sua total complexidade.  
(Giustina, 2001)

Portanto, além das qualidades estéticas, devem ser exigidas qualidades ergonômicas, funcionais e outras voltadas ao atendimento correto dos usuários (quesitos de resistência e estabilidade). Entende-se que, com requisitos como esses, quando adaptados às condições (antropométricas, sócio-econômicas, culturais e ambientais) específicas do usuário brasileiro, é possível obter um produto mais seguro, resistente e durável.

## **2.2 A Escolha do Material: *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus cloeziana***

A madeira é um dos recursos naturais mais antigos dos quais o homem dispõe e vem sendo utilizada na fabricação de móveis, estruturas, ferramentas, postes, papel, celulose, dentre outros usos por muitas gerações, acompanhando a história da própria civilização.

Apresentar aspectos relevantes do conhecimento e da aplicação de madeiras provenientes de reflorestamento que, por critérios ecológicos, políticos, estruturais e estéticos, são mais adequadas para atender às necessidades atuais de desenvolvimento de produtos que causem um menor dano possível ao meio ambiente e conseguem preservar a identidade cultural do país, solidificando o setor moveleiro nacional é o que se pretende nesta parte deste estudo.

Inicialmente, é necessário entender o material para poder explorar suas potencialidades e assegurar que suas particularidades não prejudiquem sua aplicação. De acordo com Giustina (2001), “é importante destacar que qualquer produto tem seu objetivo na definição do projeto, o qual deve ser condizente com as características básicas da matéria-prima que será utilizada”. Dessa forma, conhecer as características do material a ser empregado no desenvolvimento de um projeto de produto é o passo inicial para se obter sucesso na valorização da madeira de reflorestamento.

É importante salientar que a madeira é um material ecológico, é a matéria-prima que menos energia consome em sua transformação e sua produção é não-poluente. Além

desses fatores, existem vantagens ditas intrínsecas do material, como facilidade de manuseio, possibilidade de reaproveitamento, grande resistência mecânica em vista da baixa densidade e reduzido peso específico que fazem da madeira o material de primeira escolha em um número muito grande de situações. Entretanto, a madeira é um material heterogêneo, anisotrópico, assimétrico e biologicamente perecível, sendo necessário um uso racional no qual tais peculiaridades sejam levadas em conta.

As propriedades físicas da madeira são condicionadas por sua estrutura anatômica, sua classificação botânica, pelo solo e pelo clima da região de origem, sua fisiologia e pela variação de sua composição química. São propriedades de grande importância porque influenciam significativamente no desempenho e resistência da madeira estruturalmente.

As propriedades mecânicas são responsáveis pela resposta da madeira quando solicitada por forças externas, podendo ser dividida em propriedade de resistência e elasticidade, sendo esta a capacidade do material de retornar à sua forma inicial, sem apresentar deformação residual, após retirada a ação externa que a solicitava. As propriedades elásticas são módulo de elasticidade (E), módulo de deformação transversal (G) e o coeficiente de Poisson ( $\nu$ ).

Outra variável que influencia as propriedades da madeira é a quantidade de água existente na peça. Variações dimensionais que ocorrem na madeira devido à variação de umidade são causa de parte dos problemas visuais e estruturais em móveis. É a desigualdade das deformações radiais e tangenciais e a restrição ao movimento que promove fissuras em extremidades de mesas ou peças de madeira. Tendo consciência do processo de expansão e retração da madeira, esse deve ser antecipado e conseqüentemente minimizado. É importante que o objeto seja capaz de acomodar esse movimento natural, sem restrições. Entretanto, é fundamental que a madeira usada esteja, acima de tudo, seca.

Resumindo, a madeira é um material de grandes qualidades físico-mecânicas que deve ser estudada adequadamente, procurando sempre respeitar sua estrutura interna para que o seu emprego seja racional.

Desde sua descoberta, o Brasil, país rico em florestas nativas, vem convivendo com a exploração desse recurso, freqüentemente, conduzida de maneira não racional. Isso provocou, a partir da segunda metade do século XX, crises ambientais, localizadas principalmente nas regiões onde acontece o constante avanço da fronteira agrícola e a não-reposição da cobertura florestal.

Considerando as condições ambientais e o conhecimento silvicultural, as perspectivas para a implantação de uma política de reflorestamento nacional são muito favoráveis, pois observa-se a existência de florestas manejadas adequadamente com desbastes e desramas e o melhoramento genético, o que possibilita uma matéria-prima aplicável em um grande espectro de usos (Silva: 2003, p.178).

Segundo Giustina (2001),

nunca a indústria moveleira do país foi submetida a mudanças tão intensas e profundas como as que aconteceram nas últimas duas décadas (...). Dentre os limites impostos pelo mercado, um deles é extremamente favorável para a madeira proveniente de reflorestamentos. Cresce junto aos grandes distribuidores e consumidores o conceito dos produtos de madeira “ambientalmente corretos” e o aspecto da renovação das florestas nativas isoladamente não será mais suficiente para atender a essa exigência.

Pertencendo à família das Mirtáceas, o gênero eucalipto dá origem à possibilidade de uma ampla gama de utilização em razão de seu rápido crescimento, sua facilidade de adaptação a diferentes condições climáticas e, também, por ser uma matéria para exploração alternativa.

Tendo em vista a disponibilidade desse gênero no estado de Minas Gerais<sup>2</sup>, a substituição do uso de madeira oriunda de florestas nativas por madeira de reflorestamento é muito vantajosa por diversos motivos, incluindo os problemas ecológicos como os grandes desmatamentos e o esgotamento das reservas. Além disso, a pressão ambientalista sobre produtos fabricados com madeira aumenta a cada dia. Em alguns países, há exigências de que a madeira utilizada industrialmente tenha origem legal e controlada; e sua comercialização, no Brasil, é estimulada pelo Ibama.

De acordo com Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo - IPT - (2001), o eucalipto é uma madeira que origina árvores com altura variando de 25 a 50 metros e desenvolve-se melhor em regiões de clima tropical a temperado. Apresenta tronco grosso, casca fraca e clara que, quando desprende do tronco, deixa uma coloração branca e lisa (Kawauchi (1992: p.17)), além de possuir grande resistência mecânica.

De acordo com Silva (2003: 182),

a madeira de *Eucalyptus grandis* apresenta grande potencial de uso na indústria moveleira. De modo geral, apresenta facilidade de usinagem e boa superfície de acabamento, quando aplainada. A sua madeira pode ser torneada, lixada, furada e malhetada, além de proporcionar uma boa linha de cola<sup>3</sup> e receber pintura e brilho com facilidade.

Costa (1996) e Cetemo (1998) também apresentam o *Eucalyptus grandis* (W.Hill ex Maiden) como uma das madeiras mais promissoras por ser leve, de boa resistência mecânica comparada à sua baixa densidade.

---

<sup>2</sup> Segundo Pereira et al (2003), “estima-se que a área cultivada de eucalipto em Minas Gerais corresponda a 1,6 milhão de hectares, dos quais 800 mil são disponíveis para usos múltiplos, i.e. além do energético, papel e celulose”.

<sup>3</sup> Ou seja, uma linha de cola contínua, sem interrupções.

Outra espécie que se destaca é o *Eucalyptus cloeziana* (F. Muell) que, segundo Moura, Melo e Silva (1993), “tem coloração castanho-amarelada, é forte, dura e extremamente durável, qualidades estas que a colocam como espécie potencial em programas de florestamento e reflorestamento”.

Entretanto, segundo Serpa et al (2003),

ainda persiste a preferência em muitas indústrias moveleiras pelo uso de madeira oriunda de florestas nativas, com características diferentes da madeira de eucalipto. As substituições de madeira nativa pela madeira de eucalipto que vêm ocorrendo estão relacionadas principalmente ao preço e à dificuldade de obter outros tipos de madeira. Por isso, as madeiras de eucalipto devem ser mais bem estudadas e difundidas, com o intuito de produzir informações capazes de generalizar o seu aproveitamento.

As propriedades, peculiaridades e características da madeira de reflorestamento devem ser trabalhadas e, quando isso acontece, consegue-se recuperar todo o seu potencial expressivo, sendo possível usá-la no seu limite máximo de otimização, reduzindo os custos do objeto final.

Propõe-se, pelas características apontadas e pelas recomendações de uso apresentadas anteriormente, a execução do mobiliário escolar, a ser usado como protótipo, com as espécies de *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus cloeziana*, acreditando ser possível permitir um aprimoramento da qualidade estrutural do mobiliário aqui estudado.

## **2.3 Análise de Ligações para Móveis de Madeira**

### **2.3.1 Introdução**

Carrasco (1984) classifica as ligações em dois grandes grupos, a saber: ligações por penetração e ligações por aderência.

As ligações por penetração se caracterizam pela utilização de encaixes previamente executados, ou pelo emprego de elementos de ligação. As forças transmitidas de uma peça para outra convergem geralmente para uma pequena área (parafusos, anéis etc), ou para outros pontos isolados (cavilhas, pregos etc); ocorrendo concentração de tensões nesses pontos. As ligações por aderência são estabelecidas através de uma fina película de adesivo. Os esforços são absorvidos por superfícies relativamente grandes formadas por áreas ligadas pelo adesivo. (Carrasco, 1984: p.46)

No estudo em questão, pode-se classificar a ligação com cavilhas como uma ligação por penetração, na qual são utilizados elementos mecânicos essencialmente deformáveis para a transmissão das cargas. Já as ligações com espiga apresentam o comportamento das ligações por aderência, são contínuas nas áreas ligadas e têm usualmente uma maior rigidez. Entretanto, um detalhamento maior se faz necessário para um maior entendimento dessas junções.

### **2.3.2 Ligações Cavilhadas**

A união que utiliza cavilhas ou “pinos de madeira torneados”<sup>4</sup> é de fácil e rápida fabricação (FIG. 2.1). Na realidade, essa é uma ligação na direção de menor espessura,

---

<sup>4</sup> Denominação da Norma Brasileira NBR 7190/1997: p.22

reforçada com elementos normalmente cilíndricos e colados, o que a torna mais econômica e, conseqüentemente, mais utilizada que a espiga.

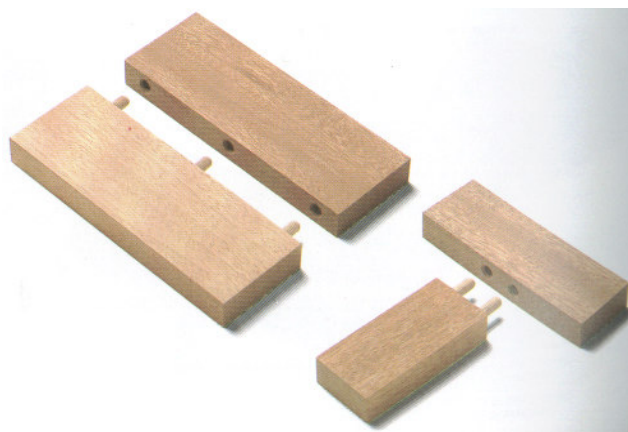


Figura 2.1 Ligação com cavilhas

Fonte: JACKSON e DAY, 1993. p. 236.

Existe uma variedade enorme de cavilhas de madeira maciça sendo vendida no mercado brasileiro, cujo diâmetro varia de 6mm (1/4''), 8mm (5/16''), 10mm (3/8'') a 12mm (1/2''), tem comprimentos distintos e   lisa ou estriada. Independentemente do tipo usado,   importante que as cavilhas fiquem com um ângulo de 90  quando inseridas nos furos, para garantir o encaixe perfeito das peças de madeira.

De acordo com o anexo C da NBR 7190/1997, que trata da determina o da resistência das liga es mecânicas das estruturas de madeira,

as cavilhas devem ser torneadas e feitas com madeiras duras, da classe C60, ou com madeiras moles de densidade aparente menor ou igual a 600 kg/m<sup>3</sup> impregnadas com resinas que aumentam sua resistência. As cavilhas podem ser torneadas com diâmetros de 16, 18 e 20 mm (NBR 7190/1997: p.35).

Entretanto, essas especifica es são para o emprego de cavilhas na constru o civil (estruturas de grande porte) e não em estruturas de móveis. Fica comprovada, portanto,

a importância do entendimento do comportamento desses pinos em estruturas de pequeno porte; validando o estudo aqui desenvolvido.

Nas diversas pesquisas desenvolvidas por Eckelman, base para a metodologia de avaliação de ligações cavilhadas aqui proposta, percebe-se que as dimensões das peças a serem interligadas, o material de que essas são feitas; o diâmetro e o comprimento da cavilha, além do seu espaçamento, são variáveis que interferem na resistência das ligações.

Eckelman (1969b) apresenta um dos primeiros estudos para entendimento do comportamento das ligações com apenas uma cavilha, usando, para tal, dois tipos de corpo-de-prova, conforme ilustra a figura 2.2.

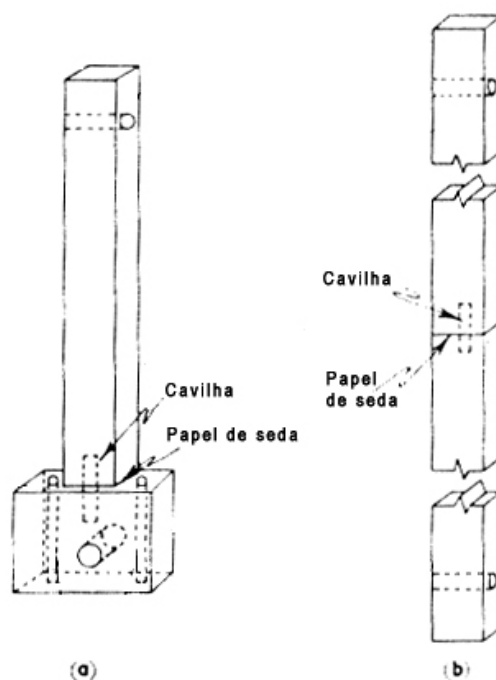


Figura 2.2 Desenho das peças de madeira usadas nos ensaios

Fonte: ECKELMAN, 1969b. p.52.

Nesse trabalho, o autor estabelece uma relação entre a força de arrancamento ( $F$ ), o diâmetro da cavilha ( $D$ ), seu comprimento ( $L$ ), a resistência ao cisalhamento paralela às fibras da madeira utilizada na fabricação da travessa ( $S_1$ ) e da cavilha ( $S_2$ ), além da

dependência com o tipo de adesivo usado (à base de uréia formaldeído, à base de acetato de polivinila - PVA - e de colas animais) e com a folga (resultado da diferença entre o diâmetro do furo e o diâmetro da cavilha), influências essas representadas pelas variáveis  $a$  e  $b$ , conforme descrito na equação 2.1:

$$F = 0,45 D L^{0,89} (S_1 + S_2) a.b \quad (2.1)$$

Em Eckelman (1970a), ao analisar uma ligação cavilhada submetida à flexão, o autor verificou que o aumento da resistência dessa ligação, agora com duas cavilhas, pôde ser conseguido a partir do aumento da distância entre os pinos. Outro resultado deste estudo foi a indicação de que cargas repetidas têm um efeito importante na vida útil das ligações.

Entretanto, essa hipótese só foi desenvolvida no artigo de Eckelman (1970b), no qual o autor evidenciou a existência de móveis com ligações soltas, explicando que essas não são apenas resultantes do movimento natural da madeira, que acarreta retração e distorções nas peças, mas que são também consequência de esforços de fadiga devido ao uso dos móveis. Analisando a resistência da ligação quando solicitada por duas diferentes cargas cíclicas aplicadas por cilindros pneumáticos, o autor conseguiu comprovar que as ligações de móveis com cavilhas são susceptíveis à falha por fadiga e estabeleceu uma faixa limite para esse esforço, que corresponde a 1/6 da resistência estática.

Já no estudo (Eckelman, 1971a) foram analisadas duas peças com distintas configurações (FIG. 2.3) e utilizadas espécies variadas de madeira para avaliação da resistência ao cisalhamento em ligações com cavilhas.

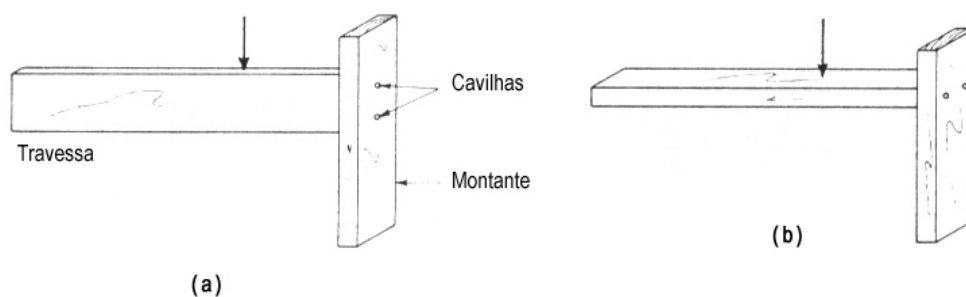


Figura 2.3 Variação no posicionamento da trava

Fonte: ECKELMAN, 1971a. p.52.

Como resultado desse estudo, salientou-se que não existe relação entre a resistência ao cisalhamento e a seção da travessa, não importando se essa se encontrava na posição vertical ou na horizontal.

Em Eckelman (1971b), foi validada a expressão matemática para a força de arrancamento apresentada em Eckelman (1969). Nesse estudo, todas as peças utilizaram uma única espécie de madeira (*sugar maple*) e cavilhas com diâmetro de 3/8" e comprimento de 2". Para cada amostra foram feitos 10 corpos-de-prova.

Determinou-se também as equações 2.2 e 2.3 para cálculo do momento fletor ( $M$ ):

$$M = F \cdot d, \quad (2.2)$$

$$d = d_1 + d_2/2, \quad (2.3)$$

sendo ( $F$ ) a força de arrancamento e ( $d$ ) a distância entre os eixos das cavilhas ( $d_1$ ) somada à distância desse eixo até a metade da extremidade da peça ( $d_2$ ), como ilustrado na figura 2.4.

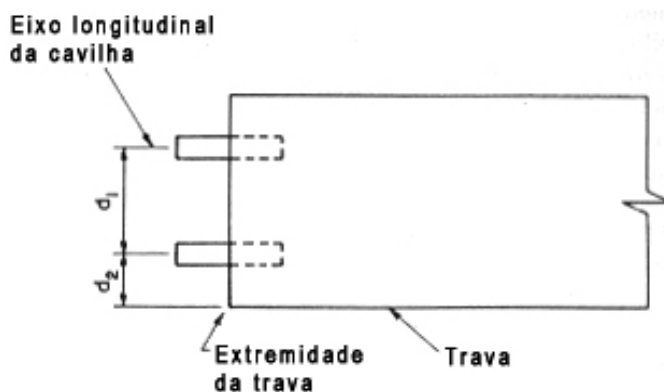


Figura 2.4 Distâncias  $d_1$  e  $d_2$

Fonte: Adaptado de ECKELMAN, 1971b. p.38.

O autor ressalta também que todo o estudo foi realizado em condições especiais de laboratório e que, na realidade, a fabricação de móveis é bem diferente, devendo ser prevista uma redução de até a metade dos valores encontrados.

Estudos mais recentes vêm sendo desenvolvidos pelo pesquisador da Universidade do Estado de Mississippi, Jilei Zhang. No seu artigo (Zhang, Quin e Tackett, 2001), foi avaliado o momento resistente e a rigidez de ligações feitas em madeira maciça (*red oak* e *yellow-poplar*), compensado, ESL (engineered strand lumber) e aglomerado.

Nesse trabalho, foi estabelecida uma relação entre o momento resistente ( $M$ ), a distância entre os eixos das cavilhas ( $d_l$ ), a altura da travessa ( $w$ ), a distância entre o eixo central da travessa e a linha neutra ( $e$ ) e a força de arrancamento de uma única cavilha ( $T$ ), conforme equação 2.4:

$$M = (d_l/2 + w/3 + e/3) T \quad (2.4)$$

Em Zhang, Li e Sellers (2003), foi estudada a força de arrancamento e o momento fletor de ligações feitas apenas em compensado. Verificou-se um aumento na resistência ao arrancamento em função do aumento no comprimento de embutimento da cavilha de 12,7 mm até 44,45 mm (com acréscimos de 6,35 mm) e um aumento no momento fletor e na rigidez rotacional com o aumento da altura da travessa de 101,6 mm para 177,8

mm (acréscimos de 25,4 mm). A mesma fórmula descrita anteriormente (equação 2.4) foi utilizada e validada.

### 2.3.3 Ligações Espigadas

A ligação do tipo espiga possui uma enorme tradição na construção de móveis de madeira. É composta por um encaixe (fêmea) feito no montante e a espiga (macho) feita na travessa (figura 2.5).

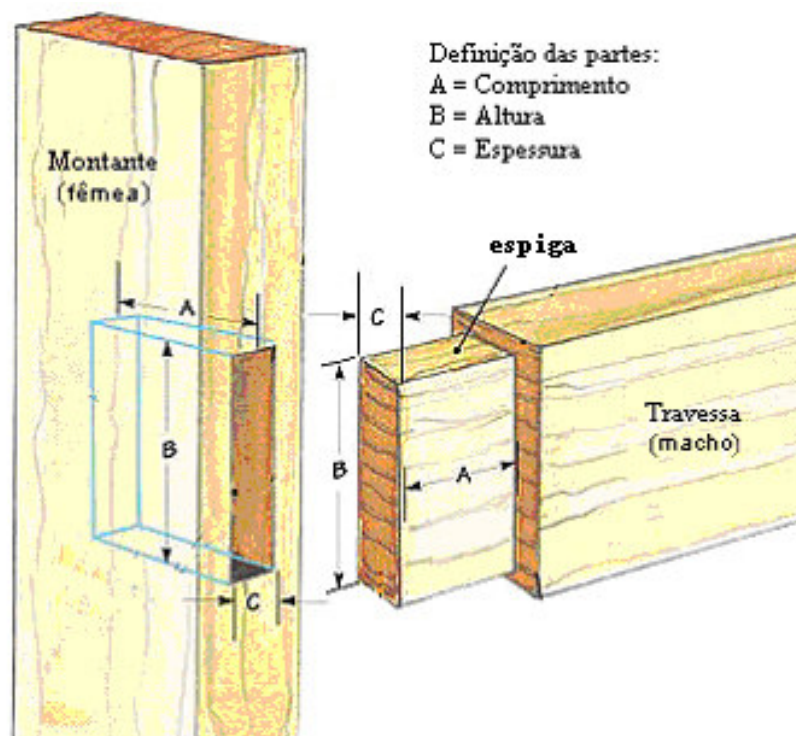


Figura 2.5 Definição das partes de uma espiga

Fonte: Adaptado de <http://Woodworker's Journal Mortise and Tenon.htm>, acesso em 25.11.2002

A junção básica é a vazada, na qual a espiga atravessa completamente o montante (FIG. 2.6), mas seu desenho pode possuir variantes. Entretanto, seu conceito é simples e único: encaixar uma peça na outra, procurando sempre aumentar a área de cola para se conseguir a maior rigidez possível.

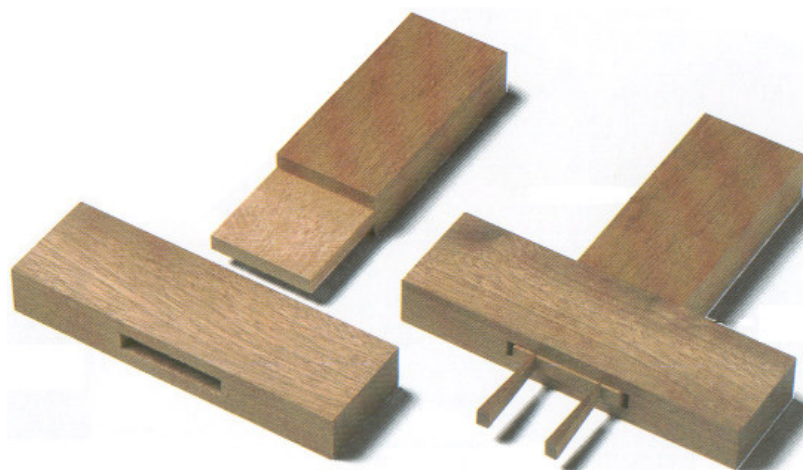


Figura 2.6 Junção espiga ou macho-fêmea

Fonte: JACKSON e DAY, 1993. p. 227.

Quando utilizada em peças como a ilustrada na figura 2.7, deve-se ter cuidado para não ocorrer o encontro das espigas e o enfraquecimento da fêmea e, quando o móvel for desmontável, pode-se utilizar a ligação apresentada na figura 2.8.

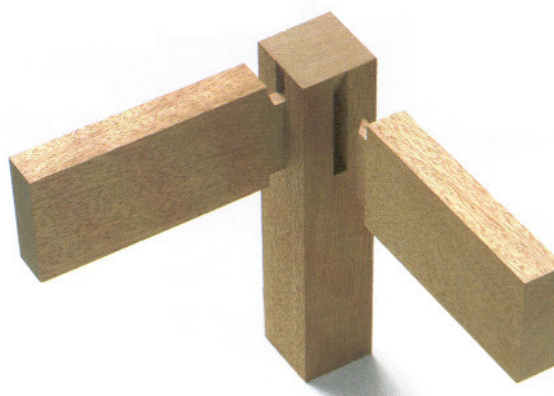


Figura 2.7 Junção macho-fêmea

Fonte: JACKSON e DAY, 1993. p. 234.

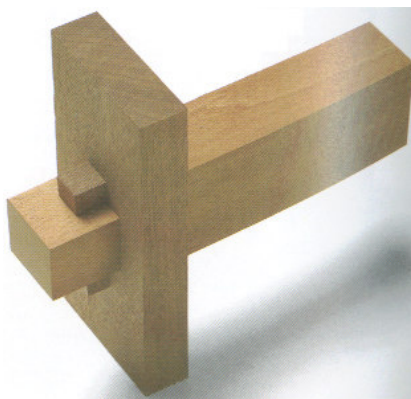


Figura 2.8 Junção macho-fêmea para móveis desmontáveis

Fonte: JACKSON e DAY, 1993. p. 234.

Outra maneira de aumentar a resistência dessa ligação é com o uso conjunto de cavilhas, variação estudada em Miller (2004), e apresentado na figura 2.9.

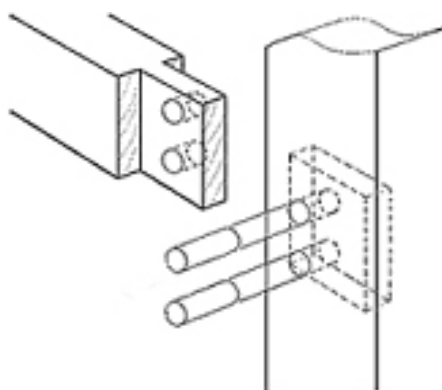


Figura 2.9 Reforço da espiga por meio do emprego de cavilhas

Fonte: [http://diydata.com/techniques/timber\\_joints/mandt/mortise\\_tenon.htm](http://diydata.com/techniques/timber_joints/mandt/mortise_tenon.htm), acesso em 03.12.2002

Em peças largas, é possível fazer a espiga dupla (FIG. 2.10a) e para peças de madeira altas, como as usadas em portas, pode-se fazer um recorte na altura da espiga (FIG. 2.10b).

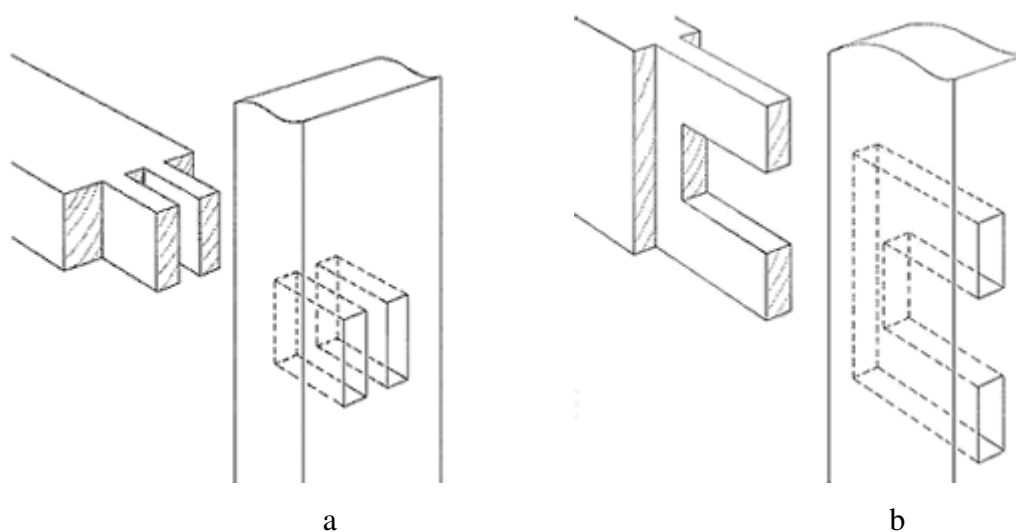


Figura 2.10 Espiga dupla

Fonte: [http://diydata.com/techniques/timber\\_joints/mandt/mortise\\_tenon.htm](http://diydata.com/techniques/timber_joints/mandt/mortise_tenon.htm), acesso em 03.12.2002

Milham (1949) foi um dos primeiros a estudar as características da espiga e compará-las à resistência de ligações feitas com cavilhas. Esse autor conseguiu demonstrar que as ligações mais resistentes eram aquelas obtidas com tolerância (folga entre a fêmea e o macho) próxima a zero.

Dupont (1963) também reafirmou a necessidade de se fazer ligações com folga (espaçamento entre a fêmea e o macho) cada vez menor, além de estudar a influência da cola na ligação, chegando à conclusão de que essa deveria ser aplicada nos dois lados da peça.

O autor que investigou a resistência à flexão e percebeu a correlação da geometria com os valores dos resultados dos ensaios foi Sparkes (1968). Segundo esse autor, quanto maiores fossem as dimensões da espiga, maior seria a resistência da ligação.

No entanto, os autores que propuseram uma metodologia de ensaio capaz de ser executada de maneira simples, apresentando resultados que poderiam ser analisados numericamente foram os professores Michael Hill e Carl Eckelman. O estudo

desenvolvido por esses dois pesquisadores foi detalhadamente apresentado em dois artigos da revista *Furniture Design & Manufacturing* de 1973.

A proposta era a de avaliar a influência das dimensões das espigas utilizadas nessas ligações. O primeiro estudo (Hill e Eckelman, 1973a) apresentou como conclusão as equações 2.5 e 2.6 que relacionam o momento aplicado ( $M$ ) e o comprimento da espiga ( $L$ ):

$$M = 2,140 + 10,600 (L) - 6,256 (L^2) + 1,717 (L^3) \quad (2.5)$$

e o momento aplicado ( $M$ ) e a altura da espiga ( $w$ ):

$$M = 1,387 + 1,071 (w) \quad (2.6)$$

Na segunda etapa do estudo realizado por Hill e Eckelman (1973b), foi apresentada uma expressão empírica (equação 2.7) que considera todas as variáveis capazes de alterar a resistência de uma ligação espigada: seu comprimento e sua espessura, a madeira utilizada e o tipo de cola usado.

$$M = 0,7 \cdot S \cdot A \cdot B \cdot C \cdot D, \quad (2.7)$$

sendo  $M$  o momento aplicado;

$S$  a resistência ao cisalhamento da espécie de madeira usada;

$A$  representando a fórmula  $0,24d + 0,57w$  (na qual  $d$  é a altura da peça e  $w$  a altura da espiga);

$B$  o fator de correção do comprimento da ligação;

$C$  o fator de adequação ao tipo de cola utilizado; e

$D$  o fator definido pela diferença entre as dimensões do macho e da fêmea.

Como explicado no próprio artigo, essa relação é empírica, mas é o início de um suporte para os fabricantes de móveis que podem, a partir desse trabalho, verificar a ligação

proposta antes de executá-la. Esse estudo serviu de base para a metodologia de avaliação aqui proposta.

Erdil, Kasal e Eckelman (2005) organizaram os dados de Hill e Eckelman (1973a) e, por meio de novas análises estatísticas, refizeram a equação que estipula o momento resistente de ligações espigadas, sendo esta:

$$M = a \cdot [0,25 \cdot (W - D) + 0,78 \cdot D] \cdot L^{0,8} \cdot S, \quad (2.8)$$

no qual  $M$  é o momento aplicado;

$a$  é o fator de adequação ao tipo de cola utilizado;

$W$  é a altura da travessa;

$D$  é a altura da espiga;

$L$  é o comprimento de embutimento da espiga; e

$S$  a resistência ao cisalhamento da espécie de madeira usada.

Segundo os autores essa equação, na média, prediz os valores obtidos por Sparkes (1968) em 1%.

Ackay, Eckelman e Haviarova (2005) estudaram espigas circulares quanto à resistência ao arrancamento, ao cisalhamento e à flexão. E em Eckelman, Erdil e Haviarova (2006), o posicionamento e a dimensão da espiga circular foi analisado.

Já Noguchi e Komatsu (2006) avaliaram experimentalmente e estimaram a rigidez e resistência de ligações coladas de madeira. Entretanto, atualmente, é Tankut e Tankut (2005) e Tankut (2007) que vêm validando as pesquisas anteriores, além de conseguir avaliar com mais profundidade a influência do desenho da espiga (se com bordas arredondadas ou quadradas), do adesivo utilizado e da interferência da folga resultado da diferença entre a dimensão da espiga e do furo nos valores de resistência.

### 2.3.4 Adesivos

Os adesivos são utilizados na marcenaria desde muitos séculos. De acordo com Eckelman (1997a), os egípcios conheciam muito bem a arte da marcenaria e usavam adesivos para colar as peças decorativas na madeira, pelo menos há mais de 3500 anos antes de Cristo.

Entretanto, analisando móveis antigos, percebe-se que as primeiras colas aplicadas não resistiam ao efeito da umidade e tendiam a falhar. Atualmente, existe uma variedade enorme de adesivos, cada um com propriedades específicas, como longa duração, resistência ao calor, resistência à umidade, secagem rápida ou lenta.

Os adesivos transferem carga de um aderente para outro por meio de uma ligação superficial. Sendo assim, a resistência das junções de peças de madeira por adesivo depende da resistência de cada elemento envolvido na união: o adesivo e as interfaces, além do processo de colagem.

Smardzewski (2002a) desenvolveu modelos matemáticos que conseguem descrever a resistência de ligações com espiga, considerando não só o material usado e o tipo de adesivo aplicado, mas a união entre esses dois fatores, denominado no estudo de “profile-adhesive joints”. Num segundo estudo (Smardzewski, 2002b), esse mesmo pesquisador avaliou os possíveis resultados de erros comuns no processo de colagem e os efeitos da heterogeneidade da linha adesiva na resistência ao cisalhamento desta. Foi evidenciada a importância da colagem e da homogeneidade da linha de cola no processo de fabricação de móveis, além de ter sido estudada a interferência positiva do excesso de cola que ocorre nas ligações com adesivos.

De acordo com a NBR 7190/1997: p.32,

o emprego de cola nas ligações deve obedecer a prescrições técnicas provadamente satisfatórias. Somente pode ser colada a madeira seca ao ar livre ou em estufa.

Serão avaliados, neste estudo, dois tipos de adesivos: PVA (acetato de polivinila, termoplástica, mais comum e barata, mas não resistente à água) e Cascamite (uréia-formaldeído, com resistência moderada à prova-d'água).

O adesivo da linha “Cascorez Extra” à base de PVA foi usado especialmente por ser indicado para colagens de madeiras de média e baixa densidades, sendo muito usado na indústria moveleira (Tout, 2000: p.269). Trata-se de um adesivo vinílico disperso em água, de cor branca, odor característico e média viscosidade que, após seco, apresenta uma película transparente, plastificada, de alta resistência ao descolamento<sup>5</sup>.

Já a cola Cascamite é um adesivo sintético, líquido aquoso de cor branca, à base de uréia-formol, indicado para colagens de madeiras em geral, com destaque para painéis de compensado, aglomerado, chapas duras, fabricação de portas, divisórias e painéis compensados para a fabricação de móveis<sup>6</sup>. Devido à mistura de um endurecedor antes da aplicação, a Cascamite tem colagem resistente, e é à prova-d'água. Segundo Carrasco (1984: p. 332), “a vida de trabalho dos adesivos de uréia depende da temperatura ambiente, do tipo de endurecedor, da natureza do catalizador, enfim, da formulação dos componentes do adesivo.” É recomendado que a madeira esteja com teor de umidade entre 7 e 15%, e o tempo de trabalho para adesivos de cura à temperatura ambiente, é de 3 a 9 horas.

Vale ressaltar que as principais vantagens na utilização de adesivos para confecção de ligações são: a distribuição de esforços em áreas mais amplas, o que torna possível a obtenção de ligações mais leves e resistentes (objetivo aqui proposto), e a execução da ligação mais rápida e econômica, segundo Bremer (1999: p.6).

---

<sup>5</sup> Available from World Wide Web:

<[http://www.albaadesivos.com.br/pdmcascorez\\_01.php?prod=cascorez2#](http://www.albaadesivos.com.br/pdmcascorez_01.php?prod=cascorez2#)> acesso em 19/09/2005.

<sup>6</sup> Available from World Wide Web:

<[http://www.albaadesivos.com.br/pdmcascamite\\_01.php?prod=cascamite2#](http://www.albaadesivos.com.br/pdmcascamite_01.php?prod=cascamite2#)> acesso em 19/09/2005.

### 2.3.5 Modelos Numéricos

Após a avaliação experimental do comportamento das duas ligações aqui estudadas, foi realizado o modelamento numérico visando a posterior otimização.

Segundo De Paula, F. A. et al (2005),

a otimização é um processo utilizado para se identificar a melhor solução (ótima ou otimizada) dentre as inúmeras possíveis, sendo que um problema de otimização consiste de uma maximização ou minimização de uma ou mais funções, com um ou mais objetivos, sujeita ou não a restrições.

Neste estudo, foi proposto alcançar, com a otimização das ligações do conjunto-aluno, a minimização do consumo de material no processo de fabricação e a garantia de que as tensões atuantes não ultrapassariam valores aceitáveis de segurança do material.

Sabe-se que a distribuição de tensões em estruturas de móveis de madeira depende de diversos parâmetros geométricos, tais como dimensões das seções transversais dos elementos e ligações, tipo de ligação entre as peças e dos parâmetros mecânicos da madeira, incluindo módulos de elasticidade e coeficientes de Poisson. A resposta dos elementos de ligação aos esforços solicitantes é influenciada pelas propriedades anisotrópicas da madeira e da alteração dessas propriedades em função das possíveis variações de umidade. Nas ligações coladas, as reações químicas dos adesivos e sua penetração na madeira resultam num novo material composto de madeira e adesivo (material de interface), cujas propriedades mecânicas são de difícil avaliação.

Dessa maneira, entende-se que a distribuição precisa do campo de tensões nas ligações não é tarefa simples. O programa *CODOFF - Computer Design of Furniture Frames* proposto por Eckelman (1970c) e o estudo analítico proposto por Eckelman e Suddarth (1969a) são alguns dos textos clássicos na área de pesquisa em avaliação numérica de estruturas de móveis.

O estudo de Gustafsson (1996) apresenta o cálculo dos principais esforços a partir da avaliação de uma cadeira feita de madeira da espécie amieiro (*Alnus glutinosa*). Percebeu-se, nesse estudo, que os momentos na trava diagonal da cadeira (figura 2.11) foram pequenos, com valores em torno de 20 Nm.

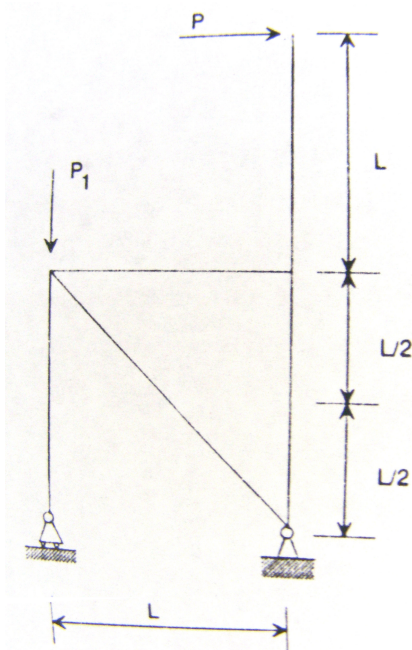


Figura 2.11 Esquema da cadeira avaliada no estudo de Gustafsson

Fonte: GUSTAFSSON, 1996. p. 340.

Smardzewski (1998) teve como objetivo desenvolver um programa que possibilita uma análise rápida e real de elementos estruturais de móveis, tentando racionalizar os princípios determinados pelo desenho e fabricação desses objetos, minimizando o uso de materiais e maximizando a resistência das peças e ligações. A seguir, apresenta-se o diagrama da cadeira estudada por esse autor (FIG. 2.12) e os resultados obtidos, utilizando a metodologia proposta que demonstram a distribuição das forças internas: forças normais, forças de cisalhamento, momentos fletores e a deformação (FIG. 2.13).

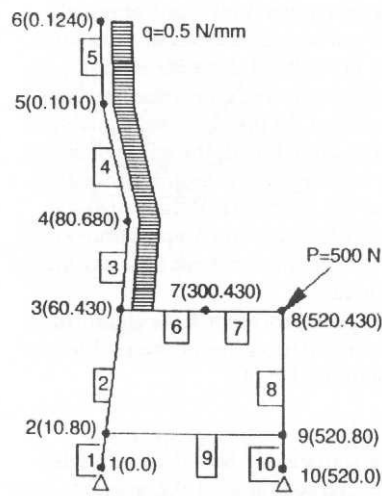


Figura 2.12 Diagrama da cadeia estudada por Smardzewski

Fonte: SMARDZEWSKI, 1998. p. 277.

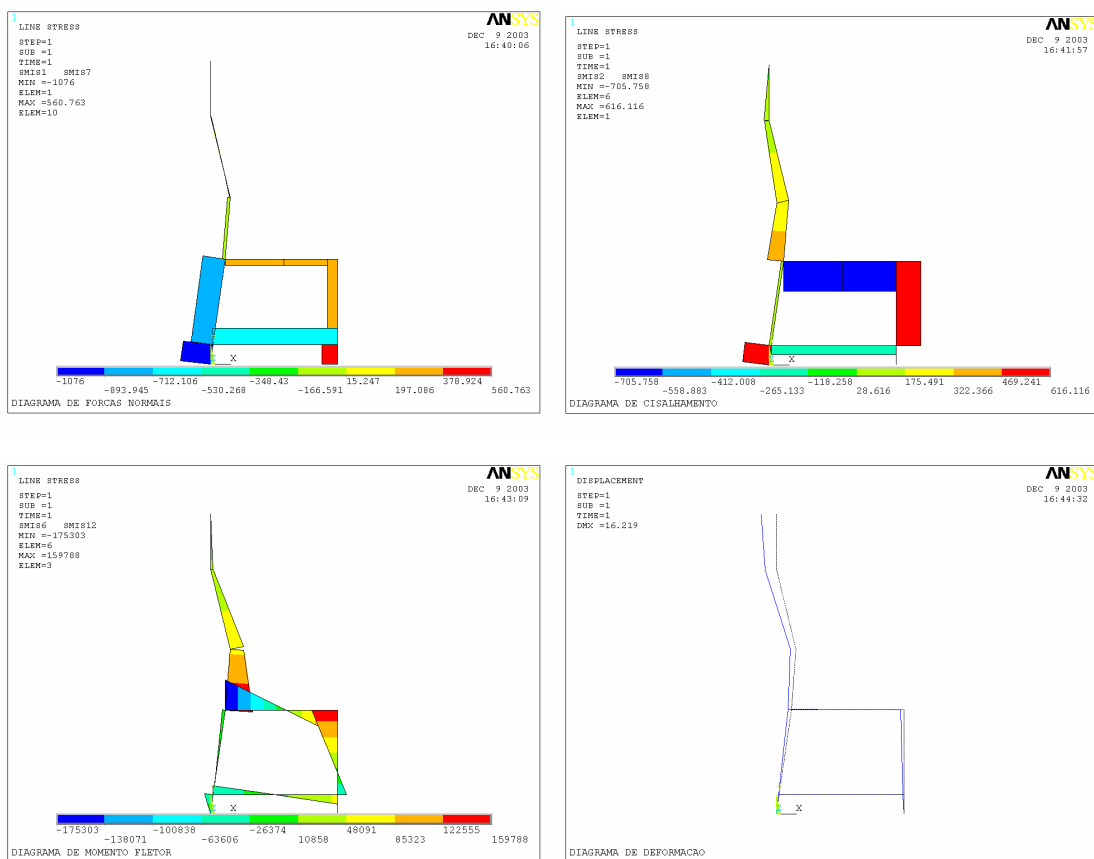


Figura 2.13 Distribuição das forças internas: forças normais, forças de cisalhamento, momentos fletores e a deformação

Fonte: Adaptado de SMARDZEWSKI, 1998.

Mais recentemente, a proposta de pesquisa de Olsson e Olsson (2003) leva em consideração a rigidez das ligações no entendimento da estrutura de móveis, para sua posterior avaliação por uma equipe multidisciplinar e redesenho desses objetos. Uma interface gráfica foi criada por Olsson e Olsson (2003) de maneira a conseguir entender o impacto de uma modificação do desenho de um móvel, levando em consideração a redistribuição de forças e a deformação da estrutura rapidamente. O programa “chairSketch” foi desenvolvido, usando como base os programas MATLAB e CALFEM (Computer Aided Learning of the Finite Element Method), mas ainda se encontra indisponível para uso doméstico ou educacional.

Vale ressaltar a pesquisa de Gawronski (2006) que analisa a resistência e a rigidez de ligações espigadas sujeitas a torção a partir de modelos numéricos baseados no método dos elementos finitos. E também as pesquisas na área de otimização de estruturas de móveis de Gustafsson (1996 e 1997) e Smardzewski e Gawronski (2003), este último a partir da busca do mínimo volume de material possível.

Moss (1996) realizou uma pesquisa sobre fatores de modificação para ligações de madeira com múltiplas cavilhas. Foi sugerida uma aproximação numérica capaz de simular o comportamento da ligação, utilizando curvas carga-deslizamento. Entretanto, o estudo mostra em sua conclusão a necessidade de aprofundamento.

Além dessa pesquisa, a ligação cavilhada vem sendo estudada numericamente por Smardzewski (1998), Nicholls e Crisan (2002), Serrano e Gustafsson (2005), e por Smardzewski e Papuga (2004). O objetivo deste último estudo era determinar a distribuição de tensões em ligações com cavilhas e espiga, avaliando as tensões na linha de cola (representada por um volume com espessura determinada), a partir da adoção de propriedades mecânicas elásticas e isotrópicas para o adesivo. Na figura 2.14, é apresentado um diagrama estático da estrutura da cadeira analisada por Smardzewski e Papuga (2004).

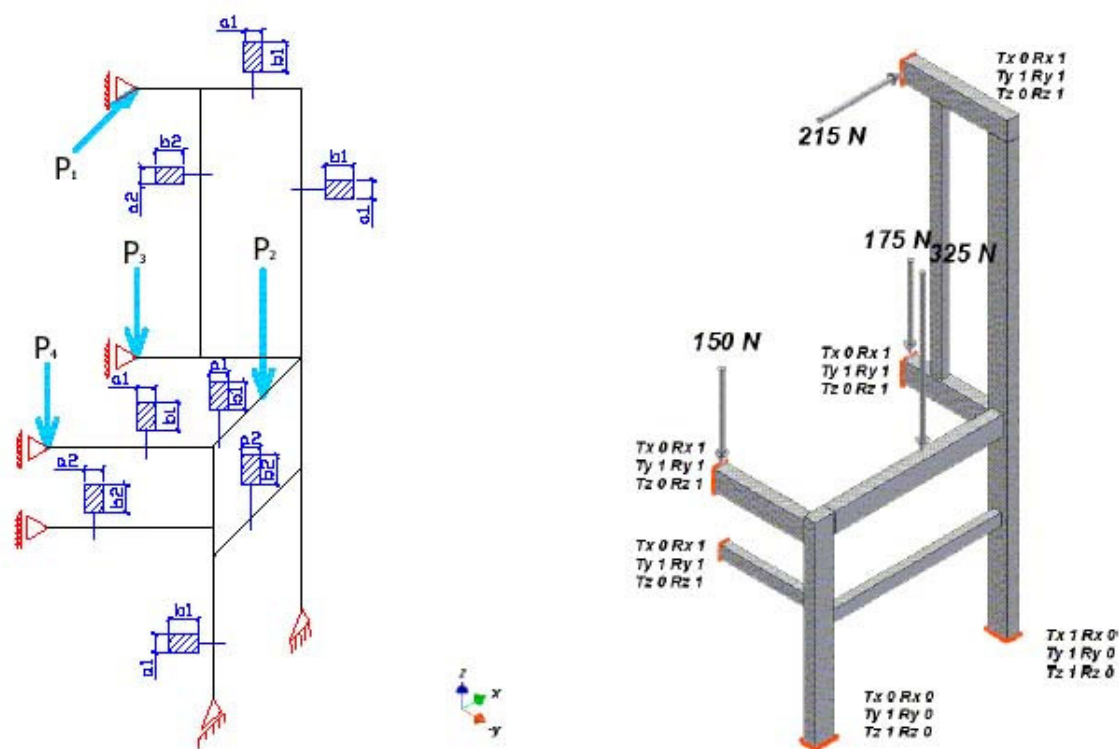


Figura 2.14 Diagrama estático da estrutura da cadeira por Smardzewski e Papuga

Fonte: SMARDZEWSKI e PAPUGA, 2004.

De acordo com De Paula, F. A. et al (2005), a representação numérica feita por Smardzewski e Papuga (2004) ainda é inadequada, pois na verdade não existe uma camada distinta de material na interface madeira-adesivo (figura 2.15), não podendo esperar que as tensões encontradas no modelo numérico realizado sejam de fato as tensões que ocorrem na ligação. Uma alternativa interessante proposta foi a de promover o ajuste das propriedades do material da interface, de forma que o modelo numérico fosse capaz de descrever um campo de deslocamentos próximo aquele encontrado nos corpos-de-prova das ligações ensaiadas experimentalmente.

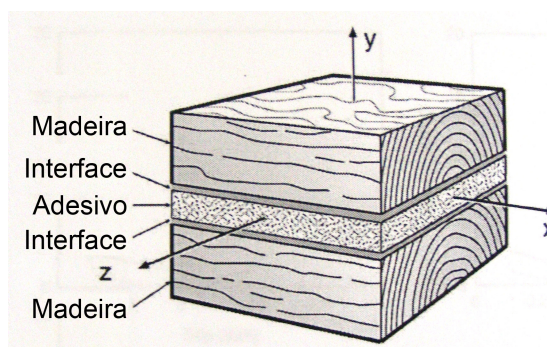


Figura 2.15 Componentes de uma linha adesiva, interface e madeira para ligações coladas

Fonte: Adaptado de SERRANO, 2004 (p.26).

Sendo assim, esta parte da pesquisa foi desenvolvida pela autora, tendo como base o trabalho de De Paula, F. A. et al (2005), Carrasco, E. V. et al. (2006a e 2006b) e Ribeiro (2006), sobre a modelagem de ligações coladas, bem como o uso da metodologia de otimização dessas ligações, utilizando programa computacional, ou seja, a análise a partir de elementos finitos por meio do programa Ansys, versão 11.

## 2.4 Avaliação da Conformidade de Móveis Escolares

Nesta parte, foram estudadas as normas nacionais de ensaios para caracterização e desempenho de móveis escolares e também as normas internacionais mais relevantes. Cada norma será apresentada, e a ordem de exibição aqui proposta não implica nenhum princípio de hierarquia, mas, sim, uma estruturação didática da trama a ser explorada. Os ensaios para avaliação das estruturas de móveis escolares foram, por fim, listados.

### 2.4.1 Introdução

A disputa por novos mercados (internos e externos) evidencia a busca pela qualidade e coloca a eficiência, a produtividade e a economia em lugar de destaque. Para se conseguir qualidade, uma das ferramentas básicas é a normatização, aqui entendida como disciplina indispensável ao estabelecimento de parâmetros a que se deve adaptar um produto. As normas estabelecem procedimentos que têm como objetivos proteger o consumidor (levando em conta aspectos de segurança e saúde), contribuir para sua

satisfação e racionalizar a economia dos produtos, contribuindo para uma maior competitividade.

Entender os procedimentos e parâmetros normativos é o primeiro passo para verificar a integridade de um produto, que perpassa pela avaliação de suas dimensões, estabilidade, durabilidade, resistência de seus componentes e do objeto em si e o estado final do móvel após a realização de todos os ensaios.

A estrutura de móveis de madeira vem sendo estudada por Ho e Eckelman (1994), Kasal, Birgul e Erdil (2006), Tankut, Tankut e Eckelman (2007); os estudos de Haviarova, Eckelman e Erdil (2001a), Eckelman, Erdil e Haviarova (2003), Haviarova, Eckelman e Erdil (2001b), Eckelman e Haviarova (2006) são, em especial, sobre a estrutura de móveis escolares e seu comportamento quando submetida a ações normativas. Entretanto, nenhum estudo nacional foi ainda realizado, o que valida o objetivo aqui proposto.

#### **2.4.2 Metodologias de Ensaio**

Verificar os parâmetros de resistência dos móveis escolares para que o mobiliário exerça sua função corretamente são informações importantes no que diz respeito à segurança e à qualidade do produto e será o recorte aqui pré-estabelecido. Não se está colocando em discussão a importância da avaliação ergonômica e de usabilidade<sup>7</sup> dos móveis, pois essa verificação é fundamental (ver anexos A e B); entretanto, aqui foi estabelecida a avaliação estrutural como critério principal.

Dessa maneira, o objetivo dessa etapa é apresentar as metodologias de ensaios existentes para móveis escolares, em detalhe a proposta pela NBR 14006/2003, e sua atualização, a NBR 14006/2008.

---

<sup>7</sup> Usabilidade pode ser definida como uma característica que explicita a facilidade de se usar um determinado produto. De acordo com Moraes (2004), a usabilidade trata da adequação entre produto, tarefas e usuários, sendo necessário saber avaliar o comportamento desses e o contexto em que a atividade está inserida para se conseguir assegurar que a utilidade dos produtos e a qualidade de interação se ajustem aos requisitos dos usuários.

As principais normas internacionais e nacionais de ensaios de estabilidade, resistência e durabilidade em móveis escolares, cadeiras e mesas são:

ISO 5970 – *Furniture – Chairs and tables for educational institutions – functional sizes* formulada de maneira a encorajar a adoção de posturas “corretas” em ambientes educacionais. Dessa forma, essa norma determina dimensões para cadeiras e mesas escolares, não avaliando, porém, casos de escolas especiais e mobiliário regulável;

ISO 7172 – *Furniture – Tables – Determination of stability* descreve os métodos de verificação da estabilidade (definida como habilidade de resistir a forças que tendem a fazer objetos virarem) de todos os tipos de mesas;

ISO 7173 – *Furniture – Chairs and stools – Determination of strength and durability*, determina a resistência e durabilidade de todos os tipos de cadeiras existentes, sendo seus ensaios elaborados para avaliar as características, a construção e/ou o processo de fabricação, independentemente do material usado;

ISO 7174- 1 – *Furniture – Chairs – Determination of stability – Part 1: Upright chairs and stools* descreve os métodos de verificação da estabilidade de todos os tipos de cadeiras, com exceção de cadeiras que possuem mecanismos reguladores de inclinação de assentos e encostos que são verificados com a ISO 7174- 2 – *Furniture – Chairs – Determination of stability – Part 2: Chairs with tilting or reclining mechanisms when fully reclined, and rocking chairs*;

BS 5873 – *Educational Furniture – Part 1: Specification for functional dimensions, identification and finish of chairs and tables for educational institutions* especifica as dimensões de cadeiras e mesas para escolas e para salas de jantar. As dimensões apresentadas diferem um pouco das apresentadas na ISO 5970;

BS 5873 – *Educational Furniture – Part 2: Specification for strength stability of chairs for educational institutions* especifica os requerimentos necessários para

definir a resistência e a estabilidade de cadeiras escolares, apresentando carregamentos que simulam o uso cotidiano e também o uso não funcional (Iida, 1997). Os ensaios aqui apresentados são muito semelhantes aos propostos pelo Regulamento Técnico da Qualidade para Móveis Escolares – Conjunto Aluno (mesa e cadeira) para o Ensino Fundamental do Inmetro e pela NBR 14006/2003;

BS 5873 – *Educational Furniture – Part 3: Specification for strength stability of tables for educational institutions* estabelece os métodos de ensaio para a determinação da resistência e estabilidade de mesas escolares. Como no anterior, os ensaios aqui apresentados também são muito semelhantes aos propostos pelo Regulamento Técnico da Qualidade para Móveis Escolares – Conjunto Aluno (mesa e cadeira) para o Ensino Fundamental e pela NBR 14006/2003;

BS EN 1730 – *Domestic furniture – tables – tests methods for determination of strength, durability and stability* determina a resistência, a durabilidade e a estabilidade de todos os tipos de mesas, sem considerar o material, o design ou o processo construtivo utilizado;

BS EN 1022 – *Domestic furniture – seating – determination of stability* especifica métodos experimental ou analítico de determinação da estabilidade de todos os tipos de cadeiras;

FNEW 83-269 - *Performance Test Method for Intensive Use Chairs*, apresentada em Eckelman e Erdil (19--) especifica uma metodologia completa de avaliação das características da estrutura de cadeiras de uso intenso (que podem ser utilizadas 24 horas por dia), podendo ser aplicada também em cadeiras de escritório de uso regular ou baixo, cadeiras de biblioteca e cadeiras de escolas públicas.

NBR 14006/2003 - *Móveis escolares – Assentos e mesas para conjunto-aluno de instituições educacionais* estabelece os requisitos mínimos de mesas e cadeiras (conjunto-aluno) para instituições de ensino nos aspectos ergonômicos, acabamento,

identificação, estabilidade e resistência, sendo este último ensaio o foco deste estudo. Os ensaios propostos são:

- Ensaio de carga estática no assento da cadeira;
- Ensaio de carga estática no encosto da cadeira;
- Ensaio de carregamento de fadiga no assento da cadeira;
- Ensaio de carregamento de fadiga no encosto da cadeira;
- Ensaio de resistência ao esforço em uma perna frontal da cadeira;
- Ensaio de impacto no assento da cadeira;
- Ensaio de impacto no encosto da cadeira;
- Ensaio de queda da cadeira;
- Ensaio de impacto na concha do assento e de desmontagem da cadeira;
- Ensaio das ponteiras dos pés da cadeira;
- Ensaio de apoio para os pés da cadeira;
- Ensaio de estabilidade da cadeira;
- Ensaio de carga estática vertical da mesa;
- Ensaio de sustentação de carga da mesa;
- Ensaio de carga estática horizontal da mesa;
- Ensaio de impacto vertical da mesa;
- Ensaio de queda da mesa;
- Ensaio de fadiga horizontal da mesa;
- Ensaio de danos de tombamento da mesa;
- Ensaio de estabilidade da mesa.

É possível qualificar esses ensaios a partir dos tipos de carregamentos usados, ou seja, *carregamento de fadiga*: repetição do carregamento aplicado de maneira uniforme e gradual, com uma carga igual à que ocorre mais frequentemente quando em uso normal; *carregamento estático*: aplicação uniforme e gradual, acima do máximo proposto para resistir, com uma repetição de carregamento em número suficiente de vezes para se ter certeza da resistência estática; e *carregamento de impacto ou queda*: ensaio com tempo de aplicação pequeno, conseguido por meio do choque ou colisão de dois corpos (NBR 14006/2003, p.2).

Percebe-se, inicialmente, que essa metodologia consegue avaliar apenas parcialmente a estrutura de um móvel uma vez que utiliza carregamentos simples. Segundo Eckelman (1988), durante sua vida útil, o mobiliário está sujeito à aplicação de cargas normais repetidas e a algumas outras de maior intensidade e menor tempo de aplicação. Quando um móvel é novo, este consegue resistir a esses carregamentos. Entretanto, com o passar do tempo, sua resistência diminui podendo até ser menor que o valor da solicitação, levando-o à ruptura, conforme ilustrado na figura 2.16.

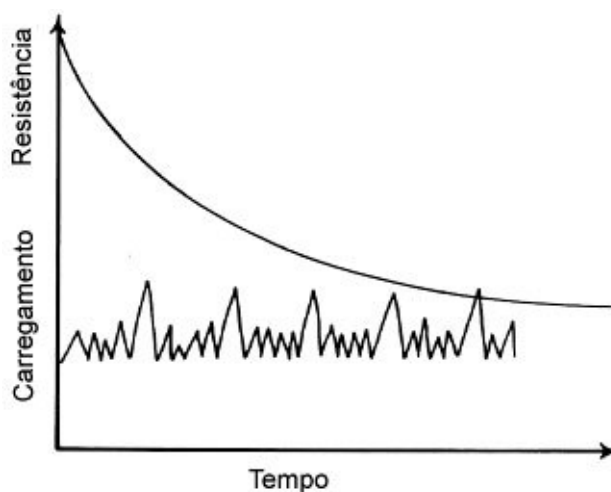


Figura 2.16 Relação entre a resistência do material x tempo

Fonte: ECKELMAN, 1988: parte 2. p.14.

Vale ressaltar que forças estáticas não são as mais apropriadas para avaliação do desempenho dos móveis, pois simplificam e não representam a realidade, uma vez que já foi constatado que a maioria dos defeitos apresentados acontecem por uso repetido (Eckelman, 1993) e que o ato de assentar é uma atividade dinâmica e não estática como muitos avaliam (Paoliello, 2001).

Com o cancelamento da NBR 14006/2003 e sua substituição pela NBR 14006/2008, foram retirados da lista de ensaios propostos os seguintes ensaios:

- Ensaio de resistência ao esforço em uma perna frontal da cadeira;
- Ensaio de queda da cadeira;
- Ensaios de impacto na concha do assento e de desmontagem da cadeira;

- Ensaio de apoio para os pés da cadeira; e
- Ensaio de queda da mesa.

Entende-se o motivo pelo qual os ensaios de queda (queda da cadeira e da mesa e impacto na concha da cadeira e desmontagem da estrutura) foram retirados da lista. Esses são ensaios que remetem ao vandalismo e a norma não deveria assegurar usos não previstos e/ou abusivos, mas, sim, simular o que ocorre na realidade ou dia-a-dia do móvel.

Entretanto, a justificativa para retirada dos ensaios em pernas e pés da cadeira não foi apresentada e a ação desses na estrutura do móvel escolar será aqui avaliada.

# 3

## MATERIAIS E MÉTODOS

Neste capítulo são apresentados os materiais e a metodologia de avaliação experimental e numérica do comportamento das ligações espigadas e cavilhadas. Além disso, é abordada a metodologia de otimização desses elementos. Num outro momento, expõe e define o protótipo aqui estudado e os ensaios estabelecidos pela NBR 14006/2003, base para avaliação experimental do mobiliário escolar.

### 3.1 Avaliação das Ligações

#### 3.1.1 Introdução

As ligações têm como principal função transmitir os esforços entre as partes constituintes da estrutura, uma vez que a maior parte dos móveis de madeira é formada por muitas peças que são reunidas entre si com o fim de trabalharem como um sistema estrutural único.

De acordo com Carrasco (1983: p.1), “a resistência, estabilidade e vida de uma estrutura dependem em grande parte da resistência, rigidez e durabilidade das ligações”; e os diferentes comportamentos das ligações dependem do tipo, materiais, geometria e distribuição dos componentes empregados, além das solicitações atuantes. Inclusive, segundo Eckelman

(1993), o desenho das ligações em estruturas de móveis é, provavelmente, o passo mais importante de todo o processo construtivo, pois mesmo que as peças consigam resistir aos esforços solicitantes, se a ligação não suportar, toda a estrutura entrará em colapso. Pode-se até dizer que a maior causa de falhas em móveis acontece devido a ligações insuficientemente resistentes, justificando, assim, seu entendimento e estudo.

Dessa maneira, pretende-se avaliar experimental e numericamente o comportamento estrutural das ligações de móveis de madeira. Como já especificado, foram escolhidos dois tipos para serem analisados: a cavilha, em função da facilidade de execução; e a espiga, por ser usualmente muito utilizada pela indústria moveleira nacional.

Foram usadas duas espécies de madeira, *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus cloeziana*, e dois tipos de adesivos, acetato de polivinila (PVA) e uréia-formaldeído (Cascamite). As relações entre o momento de ruptura e as variáveis (o comprimento de embutimento, o diâmetro e espaçamento entre as cavilhas, o comprimento e a altura da espiga) foram estudadas, bem como a relação dessas variáveis com o momento no limite de proporcionalidade e também com a rigidez rotacional. A influência das características das madeiras, compressão paralela e densidade, também foi considerada.

### **3.1.2 Avaliação Experimental do Comportamento de Ligações Espigadas e Cavilhadas**

Todos os corpos-de-prova (CPs) das ligações foram fabricados com madeira de reflorestamento - *Eucalyptus grandis* ou *Eucalyptus cloeziana*, tendo sido a madeira doada pela ESMAD - Tecnologia e Madeira Laminada Colada, empresa localizada próximo a Belo Horizonte.

O lote de madeira foi adquirido seco e, após o corte das peças e montagem dos corpos-de-prova, estes ficaram, durante um período mínimo de uma semana, resguardados e acondicionados em uma sala com pouca variação de temperatura e de umidade. Dessa maneira, mesmo sabendo que o material tende a variar de dimensões com a variação do teor de umidade, foi possível minimizar os efeitos e garantir uma maior estabilidade dimensional.

Foram realizados ensaios de flexão com as ligações cavilhadas e com as espigadas, além de ensaios de arrancamento de cavilhas.

As dimensões dos CPs de flexão foram escolhidas em função de estudos dos vários modelos apresentados na bibliografia, levando também em consideração o tamanho das peças usadas no protótipo das cadeiras e mesas escolares aqui estudado. Todos os montantes e as travessas possuíam, respectivamente, as seguintes dimensões finais: 2,5 x 5 x 30 cm e 2,5 x 5 x 35 cm (figura 3.1).

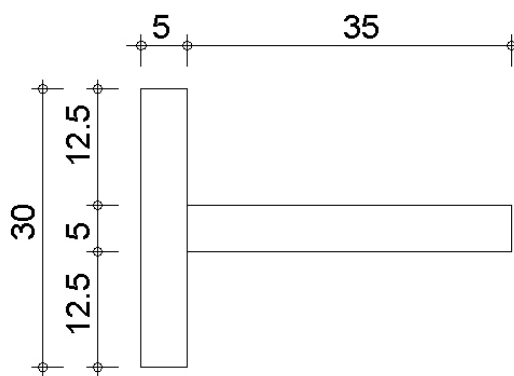


Figura 3.1 Configuração final dos CPs

Foram confeccionados sete CPs para cada amostra dos ensaios de flexão. Pretendia-se realizar o mínimo de seis ensaios de cada tipo, seguindo determinação para a caracterização mínima da resistência de uma ligação (NBR 7190, 1997: p.74). Entretanto, um exemplar a mais foi necessário para registro da carga máxima e determinação da velocidade de aplicação de carga. Nas tabelas 3.1 e 3.2, encontram-se as especificações de cada amostra e características dos CPs com espiga e cavilha, respectivamente. É importante mencionar que, no total, foram realizados 168 ensaios de flexão com espiga e 252 ensaios de flexão com cavilha.

TABELA 3.1

Dimensões dos CPs usados nos ensaios de flexão com espiga

Amostra	Número de cps	Altura da espiga(cm)	Espessura da espiga (cm)	Comprimento da espiga(cm)
A	7	2,50	0,95	1,75
B		3,25		
C				2,50
D				
E				4,25
F		5,00		

TABELA 3.2

Dimensões dos CPs usados nos ensaios de flexão com cavilha

Amostra	Número de cps	Diâmetro da cavilha (cm)	Comprimento da cavilha (cm)
G	7	0,6	5,0
H			6,5
M			8,0
I		0,8	5,0
J			6,5
N			8,0
K		1,0	5,0
L			6,5
O			8,0

Para definição do espaçamento entre as cavilhas, foram realizados ensaios preliminares com CPs de mesmas dimensões finais dos anteriores. Foi utilizada a madeira *Eucalyptus grandis* e o adesivo Cascamite. O comprimento de embutimento foi de 4 cm, o diâmetro de 0,6 cm e variou-se a distância entre os eixos das cavilhas de 1, 1.2, 1.6, 2.4, 3.2 e 3.6 cm.

Percebeu-se, pela avaliação da rigidez rotacional de cada amostra ensaiada, que a de maior valor foi a que empregava o espaçamento entre elementos igual a 3,2 cm, ou seja, a que estabeleceu a distância entre a borda da peça e o eixo da cavilha igual a 1,5 do diâmetro do

seu diâmetro, conforme determinado pela norma NBR 7190/1997: p.36 e ilustrado na figura 3.2.

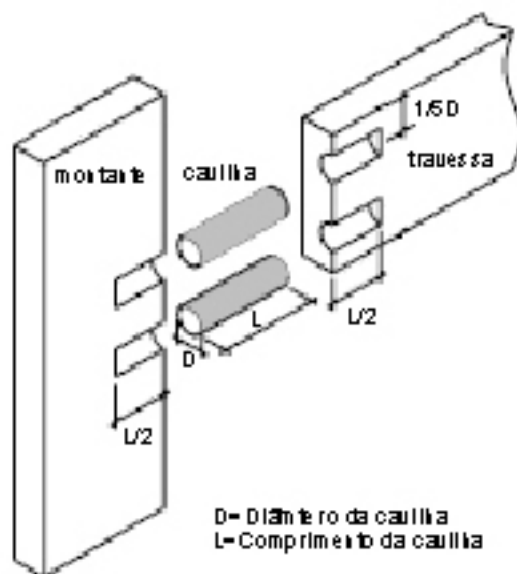


Figura 3.2 Espaçamento entre cavilhas

Fonte: RIBEIRO, 2006: p. 14.

Entre os eixos das cavilhas, a norma apresenta o espaçamento mínimo de 3 vezes o valor do diâmetro, mas, para não alterar a dimensão final do CP (já adotada de 5cm nos CPs com espiga) e considerando que se trata de ligações com pequenas dimensões, optou-se por não interferir nessa dimensão.

Dessa maneira, ficaram determinados os espaçamentos apresentados na tabela 3.3.

TABELA 3.3  
Espaçamentos entre cavilhas

Amostra	Diâmetro da cavilha (cm)	Distância entre eixo da cavilha e borda lateral (cm)	Espaçamento entre eixos das cavilhas (cm)
G, H, M	0,6	0,9	3,2
I, J, N	0,8	1,2	2,6
K, L, O	1,0	1,5	2,0

Todos os CPs foram ensaiadas no Laboratório de Caracterização Mecânica do Centro de Pesquisa Avançada de Móveis, Madeiras e Novos Materiais do Departamento de Estruturas, Escola de Engenharia - UFMG. Para aplicação das forças nos ensaios de flexão, foi utilizada uma célula de carga com capacidade máxima de 1 kN na máquina universal EMIC DL3000. A carga foi aplicada na travessa a uma distância constante de 30 cm da ligação (figura 3.3).

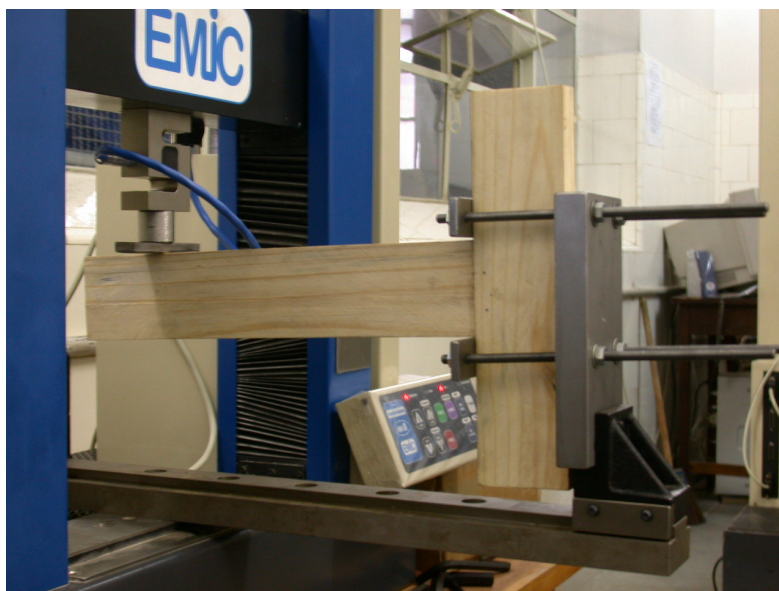


Figura 3.3 Configuração geral do ensaio de flexão e posicionamento do CP

A eliminação de uma provável acomodação da ligação foi conseguida com ensaios de acordo com o carregamento proposto no diagrama da NBR 7190/1997. Nesse procedimento, são aplicados dois ciclos de carga e descarga (10 e 50% do valor da carga máxima já determinada em ensaio preliminar), seguidos do ciclo de carga até a ruptura do CP, conforme figuras 3.4 e 3.5.

Razão entre  
Carga atuante  
Carga de ruptura

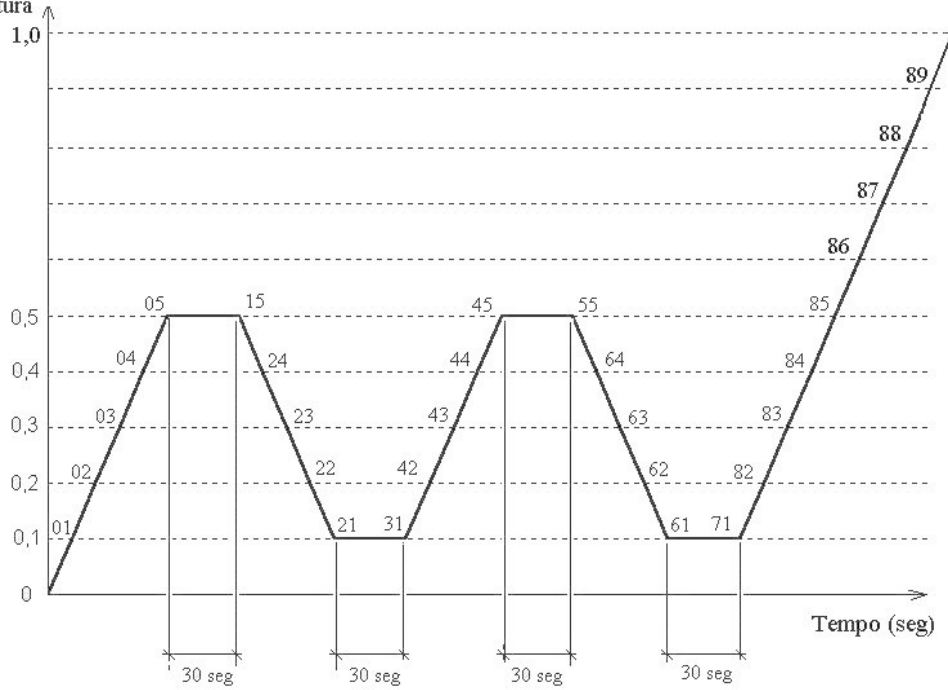


Figura 3.4 Diagrama de carregamento

Fonte: NBR 7190/1997: p.76.

Diagrama força x tempo

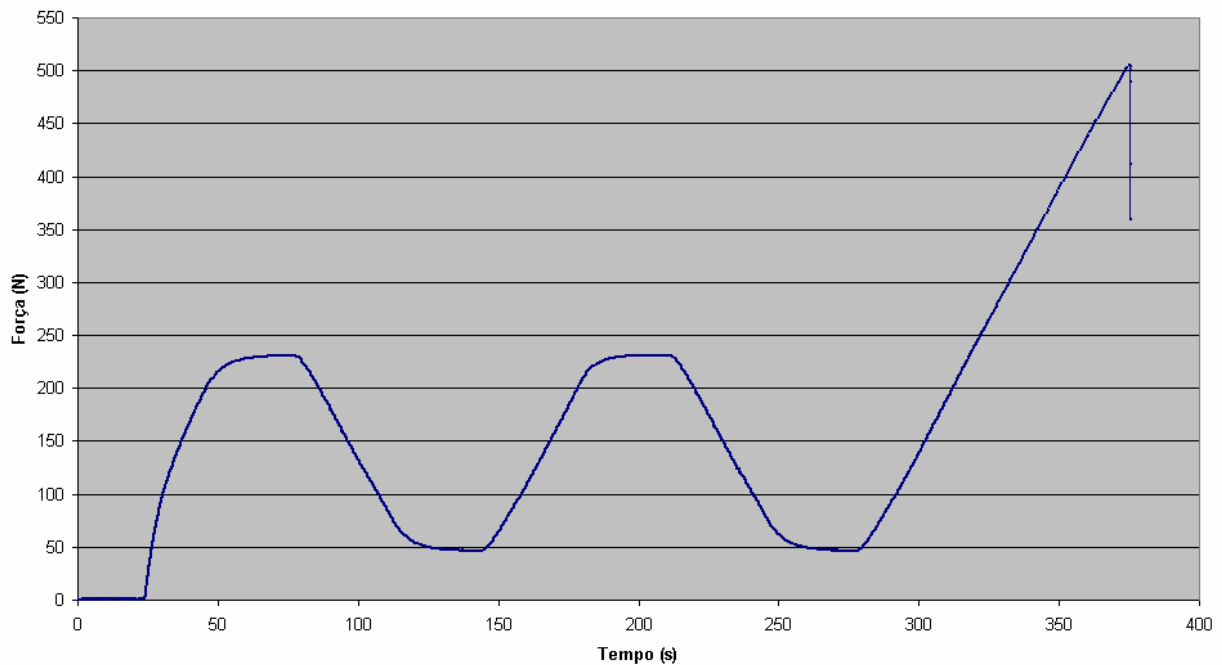


Figura 3.5 Gráfico força x tempo de um dos ensaios realizados

A força aplicada, o deslocamento e, conseqüentemente, a rotação da ligação eram os dados resultantes de cada ensaio de flexão. O ensaio finalizava com o colapso da ligação.

Foram realizados, também, ensaios de arrancamento com as ligações cavilhadas, conforme figura 3.6, e preparados 108 corpos-de-prova, seguindo as características dos anteriores, ou seja, variou-se também a madeira utilizada (*Eucalyptus grandis* ou *Eucalyptus cloesiana*), o adesivo aplicado (PVA ou Cascamite) e as dimensões das cavilhas da espécie *Balfourodendron riedelianum*, conhecida popularmente como Marfim ou Pau-Marfim (diâmetro de 0,6, 0,8 e 1,0 cm e comprimento de embutimento de 5,0, 6,5 e 8,0 cm).



Figura 3.6 Configuração geral do ensaio de arrancamento e posicionamento do CP

Para aplicação das forças do ensaio de arrancamento, foi utilizada uma garra adaptada para o ensaio, com capacidade máxima de 10 kN e uma célula de carga com capacidade máxima de 1 kN na máquina universal EMIC DL3000. A força aplicada e o deslocamento eram os dados resultantes de cada ensaio, que finalizava com o colapso da ligação.

Para correlação entre a classificação completa dos lotes de *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus cloeziana* previamente realizada e as características de cada peça, foram retirados CPs dos

montantes com as dimensões de acordo com o previsto na norma NBR 7190/1997 para obtenção da resistência à compressão paralela. Esse mesmo CP foi utilizado para determinação da umidade e densidade aparente da madeira.

### **3.1.3 Avaliação Numérica do Comportamento de Ligações Espigadas e Cavilhadas**

A metodologia aqui apresentada foi baseada nas pesquisas De Paula et al (2005), Carrasco et al (2006a e 2006b) e Ribeiro (2006), sendo os parâmetros especificados determinados a partir dos resultados experimentais prévios das ligações.

Considerou-se a madeira como material ortotrópico elástico linear com a direção principal paralela à direção das fibras e o material de interface madeira-adesivo como material elástico linear isotrópico.

Em função das características do material aqui ensaiado (madeira de reflorestamento), vale destacar que essa adequação ao modelo ortotrópico é plenamente satisfatória tendo em conta a simetria do tensor das equações físicas<sup>1</sup>. Dessa maneira, as constantes elásticas para definir as equações constitutivas foram nove (três módulos de elasticidades  $E$ , três módulos de deformação transversais  $G$  e três coeficientes de Poisson  $\nu$ ), o que simplificou a solução do problema, apesar de ainda ser considerado complexo.

Foi adotado  $L$  como a direção das fibras da madeira,  $R$  como a direção radial da madeira (ou direção normal aos anéis de crescimento) e  $T$  a direção transversal (tangencial aos anéis de crescimento e normal ao plano  $LR$ ), conforme figura 3.7.

---

<sup>1</sup> Segundo Diaz e Szucz, (2002), “para considerar a anisotropia necessita-se conhecer 21 propriedades elásticas, três módulos de elasticidades  $E$ , três módulos transversais  $G$  e quinze coeficientes de Poisson  $\mu$ , [Tadeu (1991), Bodig (1982)]. Tal quantidade de parâmetros é demasiada para a prática regular do projeto, pois a obtenção dos dados é complexa e encarece os ensaios, além de não fornecer precisão significativa nos resultados.”

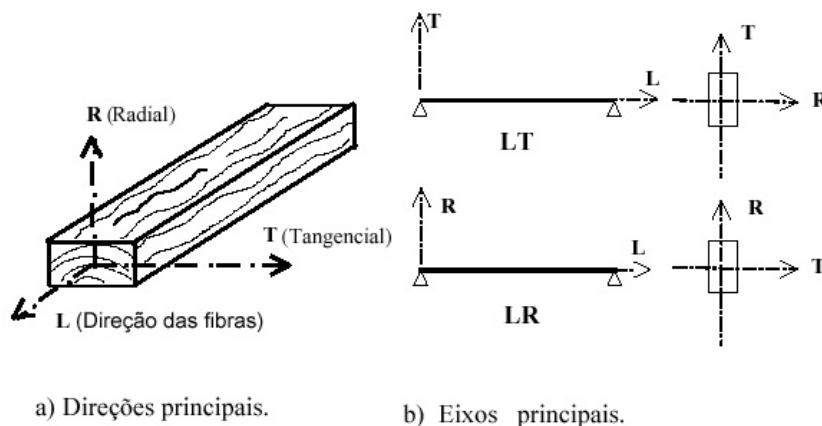


Figura 3.7 Direções principais da madeira

Assim sendo, têm-se os três módulos de elasticidade:  $E_L = E_1$ ,  $E_R = E_2$ ,  $E_T = E_3$ ; os três módulos de deformação transversal:  $G_{LR} = E_{12}$ ,  $G_{LT} = G_{13}$ ,  $G_{RT} = G_{23}$ . As relações entre eles foram determinadas pelo pesquisador Mascia (1993) e transcritas a seguir:

$$E_2 = \frac{E_1}{10.8}, E_3 = \frac{E_1}{18.65}, G_{12} = \frac{E_1}{22.44}, G_{13} = \frac{G_{12}}{0.75}, G_{23} = \frac{G_{12}}{1.94}, \quad (3.1)$$

Foi realizada uma correlação entre valores do módulo de elasticidade ( $E_{c,0}$ ), resistência à compressão paralela ( $f_{c,0}$ ) e a densidade ( $\rho$ ) a partir dos dados das espécies *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus cloeziana* apresentados por Carrasco (2004). Assim, usando a regressão múltipla linear, encontrou-se uma equação representativa e, para cada amostra, obteve-se o módulo de elasticidade ( $E_{c,0}$ ) correspondente.

Com coeficiente de determinação múltipla ( $R^2$ ) de 74,3%, a equação encontrada para a madeira de *Eucalyptus grandis* foi

$$\log E = - 5,65 - 0,259 \log \rho + 9,97 \log f_{c,0} - 2,27 \log f_{c,0}^2 \quad (3.2)$$

e para a madeira de *Eucalyptus cloeziana*, com coeficiente de determinação múltipla de 77,2%, a equação encontrada foi

$$\log E = - 7,29 - 0,653 \log \rho + 12,2 \log f_{c,0} - 3,18 \log f_{c,0}^2 \quad (3.3)$$

Mascia (1993) determinou também os valores médios dos coeficientes de Poisson para madeiras nacionais brasileiras, conforme tabela 3.4. Foram usados os coeficientes de Poisson para madeira dura, conforme proposto por Crespo Oliveira (2002).

TABELA 3.4

Valores médios de coeficientes de Poisson de madeiras brasileiras

Coeficientes de Poisson	Madeira macia	Madeira dura
$\nu_{LR} = \nu_{12}$	0,51	<b>0,471</b>
$\nu_{LT} = \nu_{13}$	0,558	<b>0,467</b>
$\nu_{RT} = \nu_{23}$	0,79	<b>0,71</b>
$\nu_{TR} = \nu_{32}$	0,49	0,425
$\nu_{RL} = \nu_{21}$	0,07	0,043
$\nu_{TL} = \nu_{31}$	0,05	0,025

Fonte: CRESPO OLIVEIRA, 2002; adaptado de MASCIA, 1993.

O valor sugerido por Gawronski (2006) para o módulo de elasticidade de adesivos do tipo PVA é igual a  $4,6 \times 10^{10}$  N/m<sup>2</sup> e foi o valor inicial adotado. O coeficiente de Poisson adotado foi de 0,3 e o módulo de deformação transversal igual a  $1,77 \times 10^{10}$  N/m<sup>2</sup>, para cola PVA, conforme pesquisa proposta por Gawronski (2006). Na bibliografia estudada, não foram encontrados dados para o adesivo Cascamite, por esse motivo os mesmos coeficientes foram adotados inicialmente para esse adesivo.

Segundo De Paula et al (2005), o modelo numérico dos CPs da ligação, baseado no método dos elementos finitos, consiste de oito volumes para a ligação cavilhada e de três volumes para a ligação espigada, conforme figuras 3.8, 3.9 e 3.10. Esses volumes foram discretizados por meio de elementos sólidos de oito nós (SOLID45).

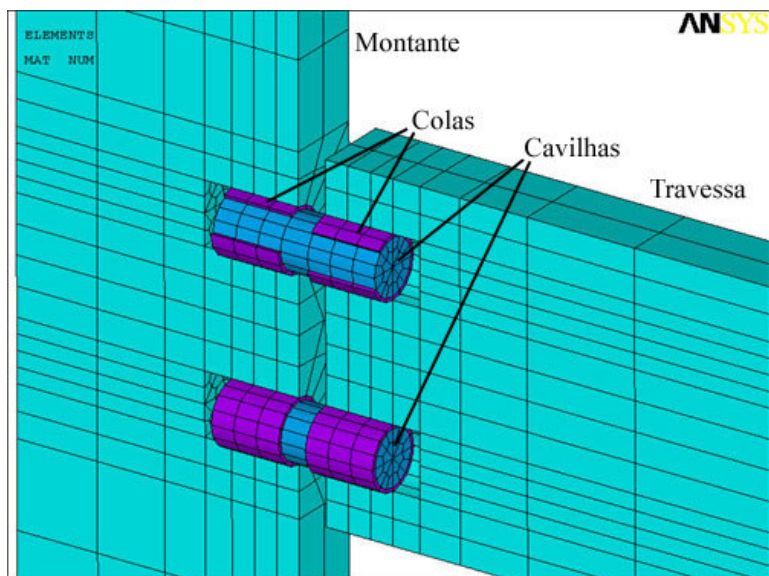


Figura 3.8 Volumes utilizados para a construção do modelo numérico da ligação cavilhada

Fonte: CARRASCO et al, 2006b.

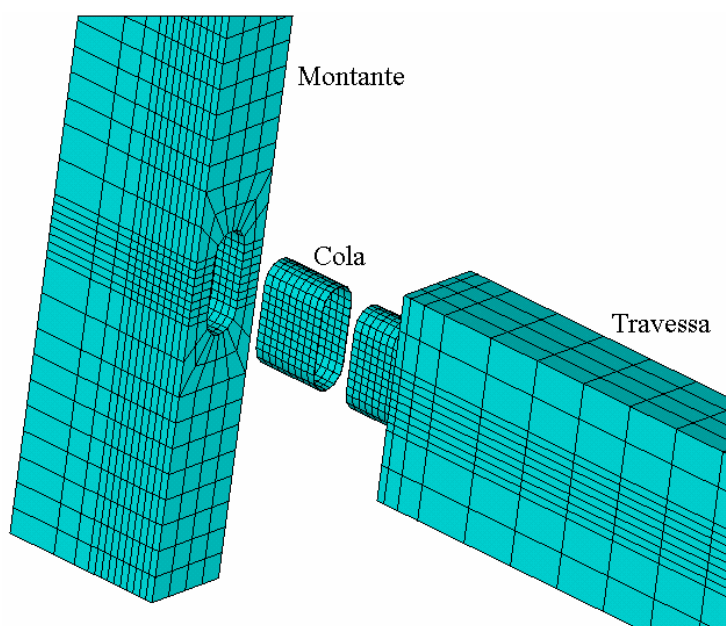


Figura 3.9 Volumes utilizados para a construção do modelo numérico da ligação espigada

Fonte: De PAULA et al, 2005.

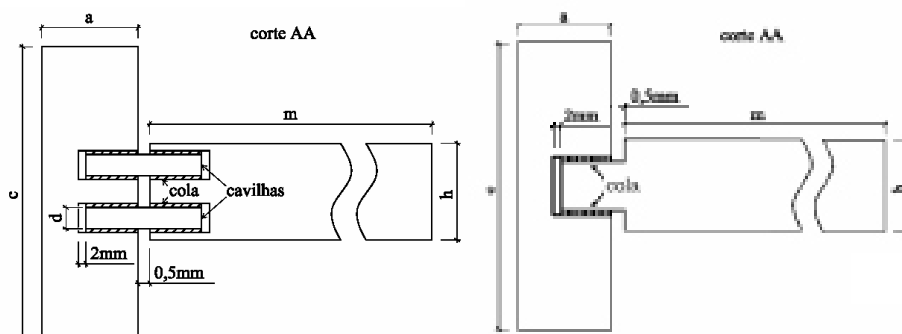


Figura 3.10 Posição dos volumes nas ligações cavilhada e espigada

Fonte: CARRASCO, 2006b e De PAULA et al, 2005.

No processo executivo, os furos são preenchidos com adesivo, que é parcialmente expulso com a introdução das cavilhas ou da espiga. A interface entre a travessa e o montante fica então preenchida e interligada pelo adesivo. Se comparada à resistência da ligação, essa interface fica com baixa capacidade de resistir aos esforços, portanto foi desprezada essa resistência na modelagem e foram utilizados elementos de mola resistindo somente à compressão para simular o contato entre essas faces, como mostra a figura 3.11.

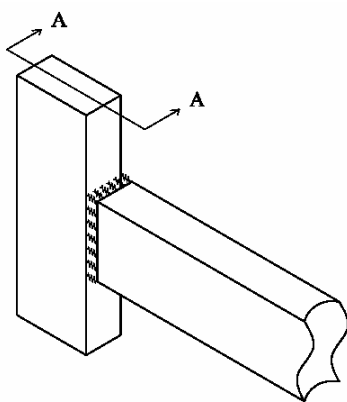


Figura 3.11 Elementos de molas na interface montante-travessa

Fonte: De PAULA, 2005.

O modelo numérico foi ajustado aos resultados experimentais por meio de alterações no módulo de elasticidade dos elementos representativos do material de interface. Considerou-se nesse ajuste, para efeito de carregamento, somente o trecho linear indicado na figura 3.12, devido à natureza elástica do modelo numérico adotado.

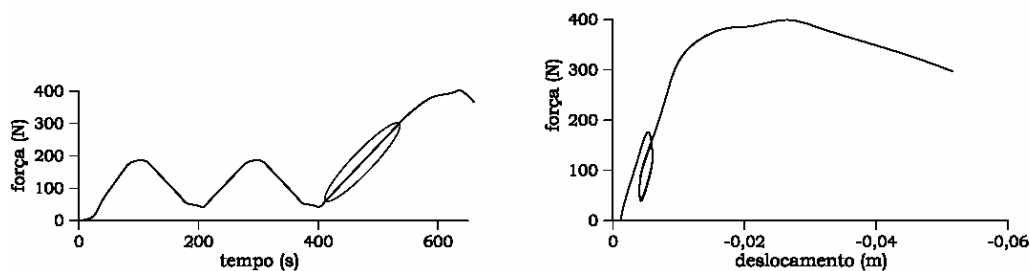


Figura 3.12 Ciclo de aplicação da carga e gráfico força versus deslocamento

### 3.1.4 Metodologia de Otimização das Ligações

O processo otimização das dimensões mínimas das ligações cavilhadas e espigadas proposto por Ribeiro (2006, p.32), consiste de

uma otimização global dividida basicamente em quatro passos. No primeiro passo, é obtida a flecha no modelo numérico tridimensional da ligação. No segundo, calculam-se as rigidezes das ligações nos planos de maior e menor resistência à flexão para serem usadas no modelo numérico de pórtico espacial da cadeira. No terceiro, obtêm-se os deslocamentos e rotações, por meio do modelo numérico de pórtico espacial. No quarto, prescrevem-se os deslocamentos e rotações do passo anterior nas seções correspondentes às superfícies limites do modelo numérico sólido da ligação a ser otimizada.

Obtidos os valores das variáveis de projeto otimizadas por meio de um algoritmo de otimização do Ansys, iniciam-se novas iterações substituindo esses valores no modelo numérico das ligações, continuando o processo até que ocorra a convergência nos valores das variáveis de projeto.

A análise da ligação mais solicitada parte da construção de um modelo numérico com elementos finitos sólidos, prescrevendo-se nas extremidades as rotações e os deslocamentos encontrados no modelo baseado em elementos de pórtico espacial e molas<sup>2</sup>.

<sup>2</sup> Segundo Ribeiro (2006), devido ao grande custo computacional de otimização, ao invés de um modelo numérico do móvel com todas as ligações constituídas de elementos sólidos, optou-se por construir um modelo numérico utilizando elementos de pórtico espacial para

Após a definição da ligação mais solicitada, obteve-se o deslocamento na extremidade livre da travessa com a aplicação de uma carga no modelo numérico validado a partir dos resultados experimentais (primeiro passo). Desse deslocamento é subtraído o deslocamento referente à deformação da travessa, obtendo-se o deslocamento da ligação.

Para cálculo do deslocamento referente à deformação da travessa para a ligação,  $\Delta_{\text{ligação}}$ , utilizou-se da equação 3.4:

$$\Delta_{\text{ligação}} = F \cdot L^3 / 3 \cdot E \cdot I, \quad (3.4)$$

sendo  $F$  a carga aplicada (150 N para as ligações cavilhadas e 250 N para as espigadas),  $L$  o valor do braço de alavanca utilizado (distância entre a ligação e o local de aplicação da força na travessa, aqui constante e igual a 30cm),  $E$  o módulo de elasticidade ( $1,7859 \times 10^{10}$  N/m<sup>2</sup> para *Eucalyptus grandis*), e  $I$  o momento de inércia.

No segundo passo, as rigidezes das molas utilizadas no modelo de pórtico espacial  $K$  foram determinadas com a equação 3.5:

$$K = M / \text{arctg}(\Delta_{\text{ligação}} / L), \quad (3.5)$$

sendo  $M$  o momento atuante na ligação,  $L$  o comprimento da travessa e  $\Delta_{\text{ligação}}$  a parcela da flecha relativa à deformabilidade da ligação.

No terceiro passo, construiu-se o modelo da ligação tendo como restrição o valor da constante real das molas, ou seja, da rigidez obtida anteriormente.

---

montantes e travessas; molas para representar as ligações; e elementos de placa para o assento. Foram utilizados elementos de pórtico espacial (BEAM4) para representar os pés, as travessas e o encosto, de casca (SHELL63) para representar o assento e elementos de mola (COMBIN14) para representar as ligações. Cada ligação foi representada por três elementos de mola, sendo uma de rotação no plano de maior rigidez à flexão, uma no plano de menor rigidez à flexão e uma de torção.

Tanto o modelo numérico da ligação cavilhada quanto o da ligação espigada é delimitado pelas superfícies de corte indicadas na figura 3.13, a saber: uma definida pela seção transversal na travessa, duas seções transversais no montante e uma na face lateral do montante. Esta última superfície corresponde à interseção da trava frontal posterior com a superfície lateral do montante. Nessas quatro superfícies são prescritos os deslocamentos e as rotações, obtidos por meio do modelo numérico de pórtico espacial, e que serviram para otimização da ligação.

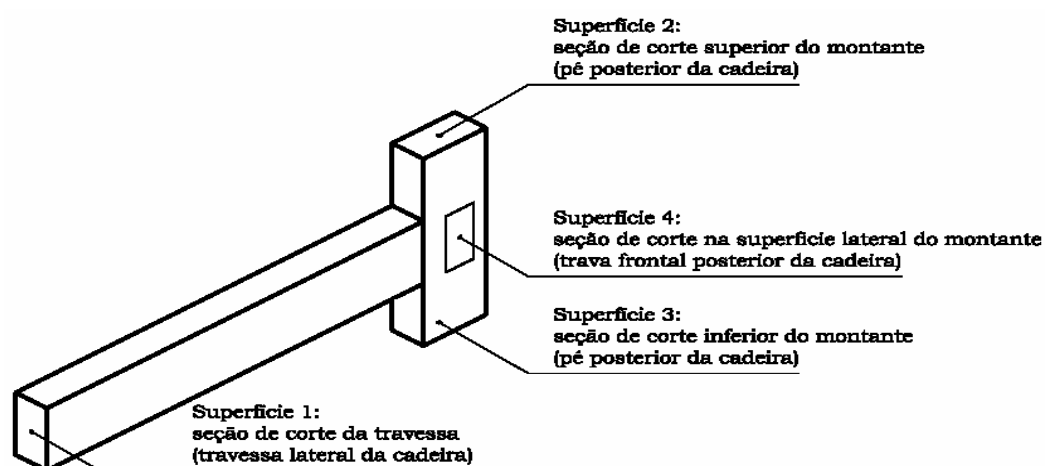


Figura 3.13 Seções de corte do trecho da ligação a ser otimizada

Fonte: RIBEIRO, 2006.

O quarto passo é a otimização propriamente dita. Com a convergência de valores das variáveis de projeto (comprimento, diâmetro e distância entre cavilhas no caso de essa ligação estar sendo analisada ou comprimento e altura da espiga), obtêm-se as novas dimensões da ligação.

Vale dizer que se otimiza o modelo da ligação usando, como função objetivo adotada, o volume da ligação. As variáveis de estado são a tensão máxima equivalente com base no Critério de Von Mises, atuando nos elementos da cola e o deslocamento relativo entre a face da travessa e a face do montante. Nas tabelas 3.5 e 3.6 são apresentados os limites e tolerância dos parâmetros de otimização da ligação cavilha e espigada.

TABELA 3.5

Limites e tolerância dos parâmetros de otimização da ligação cavilhada

	Limite inferior	Limite superior	Tolerância
<b>VARIÁVEIS DE PROJETO</b>			
Comprimento de embutimento da cavilha (mm)	45,0	67,2	$1,0 \times 10^{-5}$
Diâmetro da cavilha (mm)	6,0	8,0	$2,0 \times 10^{-4}$
Espaçamento entre eixos das cavilhas (mm)	12,0	32,0	$1,0 \times 10^{-5}$
<b>VARIÁVEIS DE ESTADO</b>			
Tensão de Von Mises na cola (Pa)	$9,00 \times 10^8$	$9,15 \times 10^8$	$1,0 \times 10^{-2}$
Deslocamento relativo (mm)	0	0,492	$1,0 \times 10^{-9}$
<b>FUNÇÃO OBJETIVO</b>			
Volume da ligação (m <sup>3</sup> )			$1,0 \times 10^{-8}$

TABELA 3.6

Limites e tolerância dos parâmetros de otimização da ligação espigada

	Limite inferior	Limite superior	Tolerância
<b>VARIÁVEIS DE PROJETO</b>			
Altura da espiga (mm)	25,0	40,0	$1,0 \times 10^{-5}$
Comprimento de embutimento da espiga (mm)	17,5	30,0	$1,0 \times 10^{-5}$
<b>VARIÁVEIS DE ESTADO</b>			
Tensão de Von Mises na cola (Pa)	$5,00 \times 10^6$	$1,12 \times 10^7$	$1,0 \times 10^{-2}$
<b>FUNÇÃO OBJETIVO</b>			
Volume da ligação (m <sup>3</sup> )			$1,0 \times 10^{-8}$

Durante a otimização, os valores de tensão nos elementos de cola das primeiras fileiras foram desconsiderados, conforme figura 3.14, por apresentarem elevadas concentrações de tensão, típicas em modelo de comportamento elástico linear.

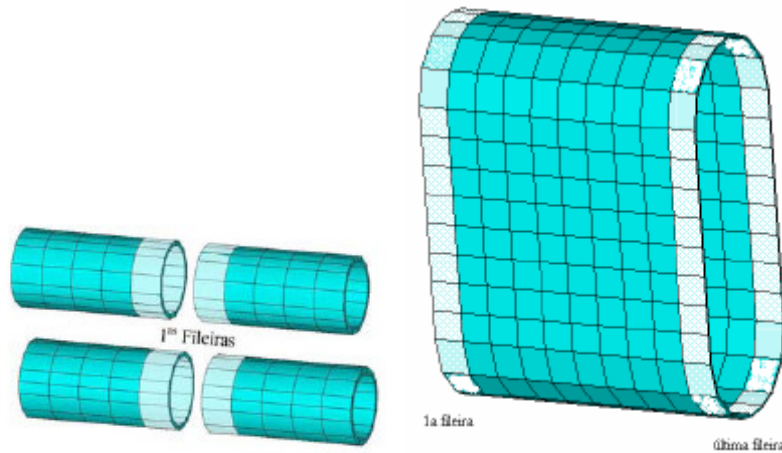


Figura 3.14 Primeira e última fileira dos elementos de cola desconsiderados durante a verificação da tensão equivalente de Von Mises: ligação cavilhada e espigada

Fonte: De PAULA et al, 2005.

O fluxograma da figura 3.15, resume o processo utilizado.

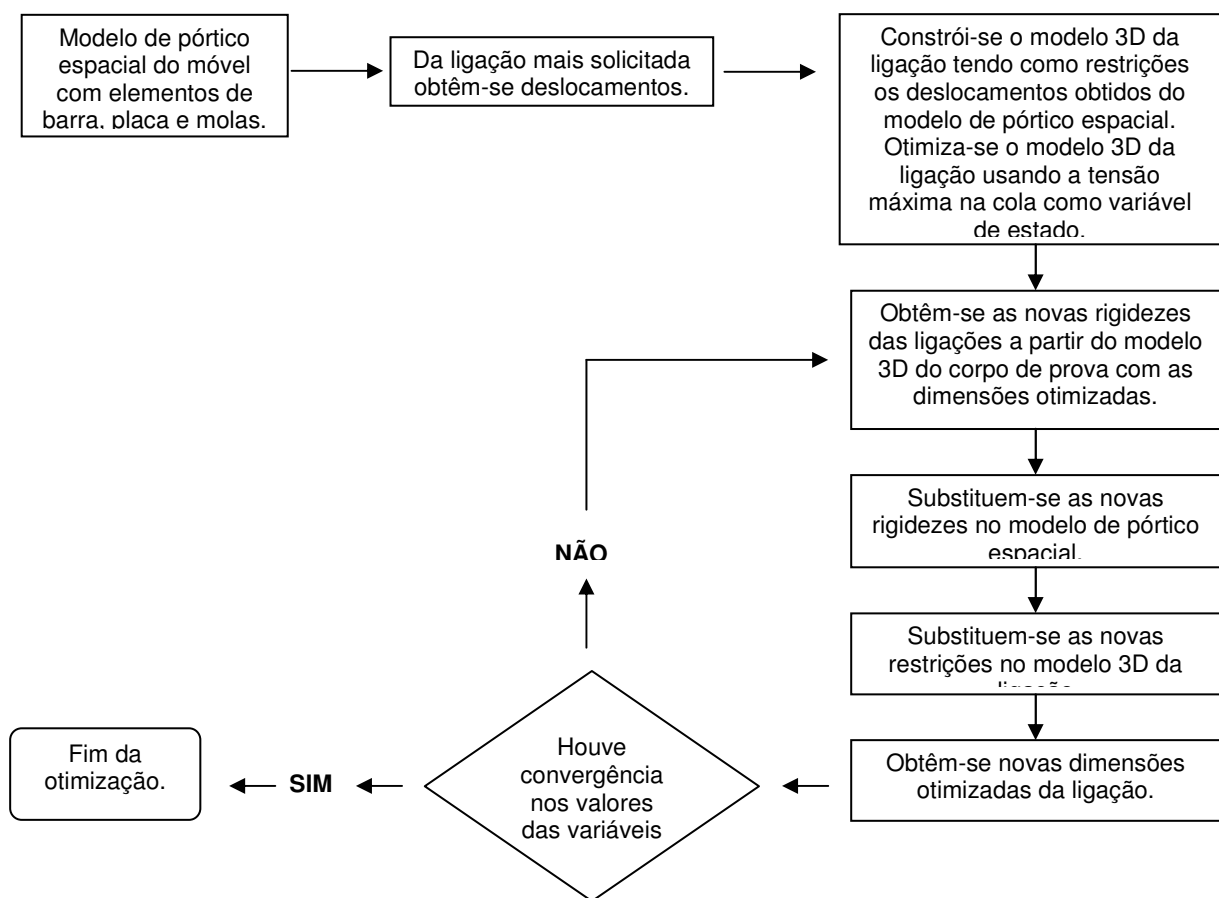


Figura 3.15 Fluxograma do processo de otimização global

Fonte: RIBEIRO (2006: 33)

## **3.2 Avaliação do Protótipo**

### **3.2.1 Apresentação e Definição**

Por meio da parceria entre Universidade Federal de Minas Gerais - UFMG e a Escola de Design da Universidade do Estado de Minas Gerais - UEMG, foi desenvolvido o exemplar de um conjunto-aluno aqui utilizado como protótipo nos ensaios realizados. Essa parceria foi fruto do Projeto AVALOR - Mecanismos para o Desenvolvimento de Produtos Madeireiros de Alto Valor Agregado, aprovado pelo Ministério da Ciência e Tecnologia, CNPq e FINEP em 2003 e elaborado pela Escola de Engenharia da UFMG, Escola de Design da UEMG, Fundação Centro Tecnológico de Minas Gerais, Rede Mineira de Laboratórios de Metrologia e Ensaios, Sindicato das Indústrias do Mobiliário e de Artefatos de Madeira, e CAF Santa Bárbara Ltda.

Segundo Carrasco (2005) e Pereira et al (2003), inicialmente

ocorreu o nivelamento entre todos os participantes com o objetivo de conscientizar os empresários locais dos materiais que seriam utilizados em todo o processo de projeto; apresentar vários tipos de comercialização; introduzir novos equipamentos de produção e processos produtivos mais eficientes utilizando os próprios equipamentos com maior eficiência e segurança; identificar os diversos sistemas de ligações que poderiam ser produzidos com facilidade nas próprias empresas, proporcionando qualidade técnica e estética ao produto, e as junções e sistemas de montagem que poderiam ser adquiridos no mercado, além de outros itens.

Concomitantemente a todo esse processo, o projeto era encaminhado ao Núcleo da Madeira (UEMG), no qual a equipe técnica refazia o projeto dentro das normas técnicas, alterando os processos fabris para disseminar outros conhecimentos e novas técnicas de produção, além de valorizar detalhes estéticos, de proporção, de aproveitamento de materiais e relações ergonômicas.

Segundo Alves (2004), o conjunto-aluno foi definido, por fim, com módulos individuais de mesa e cadeira, sendo os principais pontos elaborados para o desenvolvimento do corpo-de-prova:

- a aplicação das normas técnicas em todas as fases de desenvolvimento do produto;
- a utilização do Eucalipto como matéria-prima principal;
- o desenvolvimento de um produto compatível com o poder aquisitivo da região, atendendo a uma demanda institucional;
- a melhoria de aspectos ergonômicos em relação aos produtos produzidos na região;
- o melhor ajuste do dimensionamento dos componentes do produto levando em consideração às dimensões da matéria-prima disponível; e
- a redução do preço de custo e, conseqüentemente, o preço de venda.

Seguindo essas determinações, o desenvolvimento do produto foi direcionado de modo a não seguir a mesma tendência dos produtos já produzidos na região, criando um diferencial no aspecto formal, apesar de manter características regionais. O processo produtivo também foi modificado por outros mais eficientes, visando a maior agilidade na produção. Foi proposta, conforme pode ser observado na figura 3.16, a realização de:

- encosto curvo e inclinado;
- assento em madeira maciça com inclinação em duas direções;
- estruturas delgadas e reforçadas;
- utilização inicial de cavilhas como principal elemento de ligação de componentes;
- colagem por junta seca para agilizar produção;
- arestas boleadas;
- porta-copo e tampo opcional da carteira, para trabalhos em grupo, como valores agregados.



Figura 3.16 Foto do conjunto-aluno idealizado pela UEMG

Sendo importante obter maior conforto e segurança com a carteira escolar idealizada, fez-se, então, necessária a consideração de parâmetros obtidos a partir da observação do uso desse protótipo em situação real, visando à apreensão do comportamento efetivo do usuário e não somente dos aspectos dimensionais e/ou de resistência normalizados.

Portanto, buscou-se verificar a adequação ao usuário e à tarefa por meio de ensaios de usabilidade (anexo B), além da realização de ensaios preliminares propostos pela NBR 14006/2003 para verificação da conformidade do protótipo. Levando-se em considerações os resultados desses ensaios, foram feitas alterações no desenho final do conjunto-aluno, conforme destacado nas figuras 3.17 e 3.18.



Figura 3.17 Foto do conjunto-aluno modificado

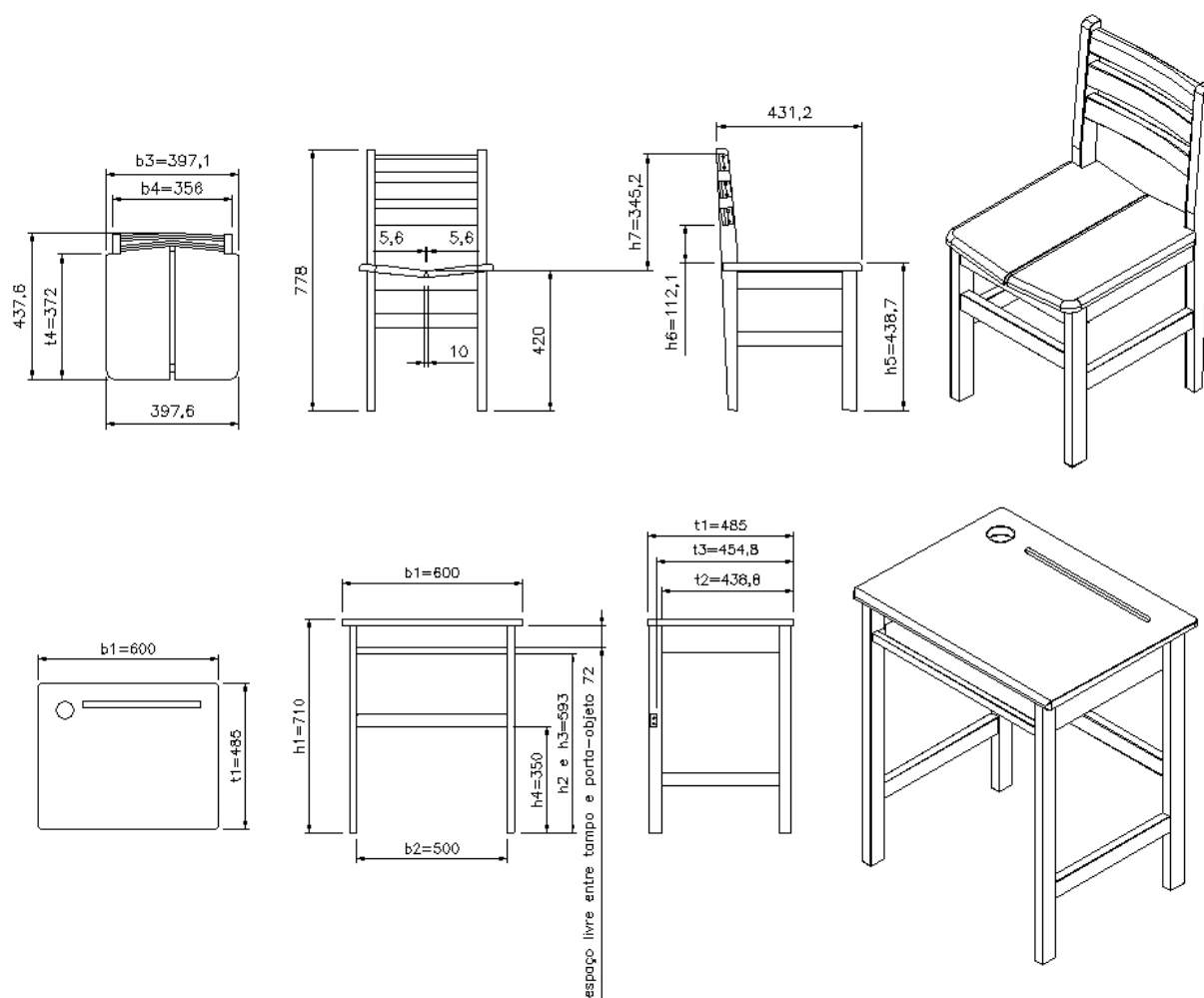


Figura 3.18 Dimensões do conjunto-aluno modificado em mm (planta, elevação frontal e lateral e perspectiva da cadeira e mesa escolar)

Todos os protótipos foram fabricados pela Empresa Decor Mobile de Belo Horizonte, com a fiscalização dos técnicos do Centro de Pesquisa Avançada de Móveis, Madeiras e Novos Materiais, utilizando peças de *Eucalyptus grandis* escolhidas com o cuidado de se utilizar tábuas isentas de nós ou outros defeitos visuais.

### 3.2.2 Avaliação Experimental

Após a avaliação teórica do comportamento das ligações dos móveis, foi iniciada a avaliação experimental da estrutura dos mesmos.

Para se conseguir obter todos os dados relevantes, uma instrumentação especial foi definida. Para a correta medição dos valores de carga que acontecem nos pés das cadeiras e mesas, foram utilizadas células de carga, modelo LM-100KA da marca Kyowa com capacidade máxima de 1 kN e diâmetro de 20 mm. Essas células de carga foram calibradas no Laboratório de Solos do Departamento de Engenharia de Transporte e Geotecnia da Escola de Engenharia da UFMG e foram obtidos valores de correlação de 100%.

Para a correta medição dos deslocamentos da trava do encosto e ligação entre perna traseira e trava do assento lateral, foram utilizados três transdutores de deslocamento (DT's) um na trava do encosto e dois na lateral da perna, conforme figura 3.19. Para a medição do deslocamento do tampo da mesa, um DT foi posicionado embaixo deste. Cada DT foi calibrado com valores de correlação também de 100%.

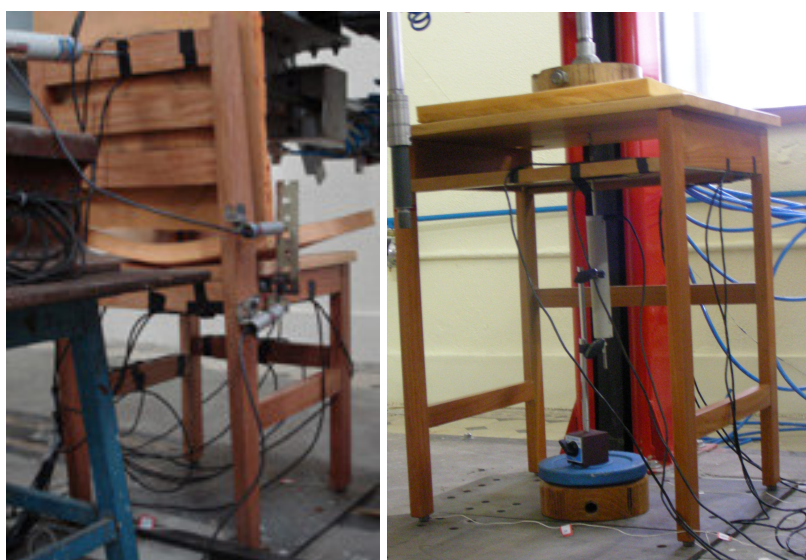


Figura 3.19 Posicionamento dos DT's na cadeira e na mesa

Procedimentos foram adotados para a colagem de extensômetros elétricos de resistência (strain-gages). O primeiro passo foi o preparo das superfícies, o que compreende abrasão (com lixas de número 80, 120, 150, e 320 em duas direções) e traçado das linhas de referência para orientação dos strain-gages. Logo após, houve o procedimento de preparação de adesivos e colagem dos extensômetros<sup>3</sup>; a soldagem e posicionamento dos cabos e, por fim, a proteção dos strain-gages.

---

<sup>3</sup> A colagem foi iniciada o mais rápido possível após o preparo adequado da superfície. Foi usado um adesivo à base de cianoacrilato.

Para se obter um perfeito desempenho do strain-gage, foi preciso uma série de cuidados: desde o modo de manuseá-lo até as proteções especiais utilizadas de acordo com o ambiente no qual foi feita a instalação. Sabe-se que o extensômetro pode ser gravemente afetado pelas condições nas quais ele fica exposto, tais como: umidade, temperaturas extremas, água, abrasão etc. Parafina, cera microcristalina, silicone, poliéster, verniz poliuretano ou apenas durex são as principais coberturas protetoras de strain-gages. No caso dos ensaios propostos, o Laboratório de Avaliação da Conformidade de Móveis é um ambiente controlado (temperatura e umidade ponderadas e pouca poeira) e, mesmo assim, visando minimizar qualquer risco de dano, usou-se durex como cobertura protetora para os strain-gages.

Vale ressaltar que não se conhece um limite de resolução para os extensômetros, sabendo que deformações na ordem de  $10^{-10}$  podem ser obtidas com reprodutibilidade satisfatória. Todos os strain-gages têm limites de alongamento que não devem ser ultrapassados. Se isso ocorrer, o elemento sensor pode se romper, a base fissurar ou mesmo o strain-gage se descolar. Alguns extensômetros foram danificados no decorrer dos ensaios e imediatamente trocados.

Um fator que também pode influenciar na leitura dos strain-gages é a seleção dos cabos de conexão a serem usados, os quais devem transmitir os sinais dos extensômetros aos equipamentos de medição limitando os ruídos ao mínimo aceitável e resistindo às agressões ambientais. Normalmente são usados cabos com baixa resistência elétrica e com comprimento menor que 6 metros e nos ensaios foram empregados cabos com 3 metros de comprimento, valor definido em função da queda brusca que ocorre com a cadeira escolar em função do ensaio de impacto no encosto desta.

O método mais usual para se medir deformações estáticas ou dinâmicas é a incorporação de um ou mais strain-gages a uma Ponte de Wheatstone. Nos protótipos, foram empregados extensômetros ligados em  $\frac{1}{2}$  ponte, circuito mais sensível à deformações provenientes de flexão, e em ponte completa, locais de interesse de leitura que não possibilitavam a colagem de outro extensômetro na parte superior da trava. A instrumentação está apresentada no esquema ilustrado na figura 3.20, valendo enfatizar que os locais de fixação dos strain-gages para leitura da deformação das barras, bem como, determinação das tensões paralelas e tangenciais ao eixo longitudinal foi validada pela análise teórica, utilizando o programa Ansys, versão 11.

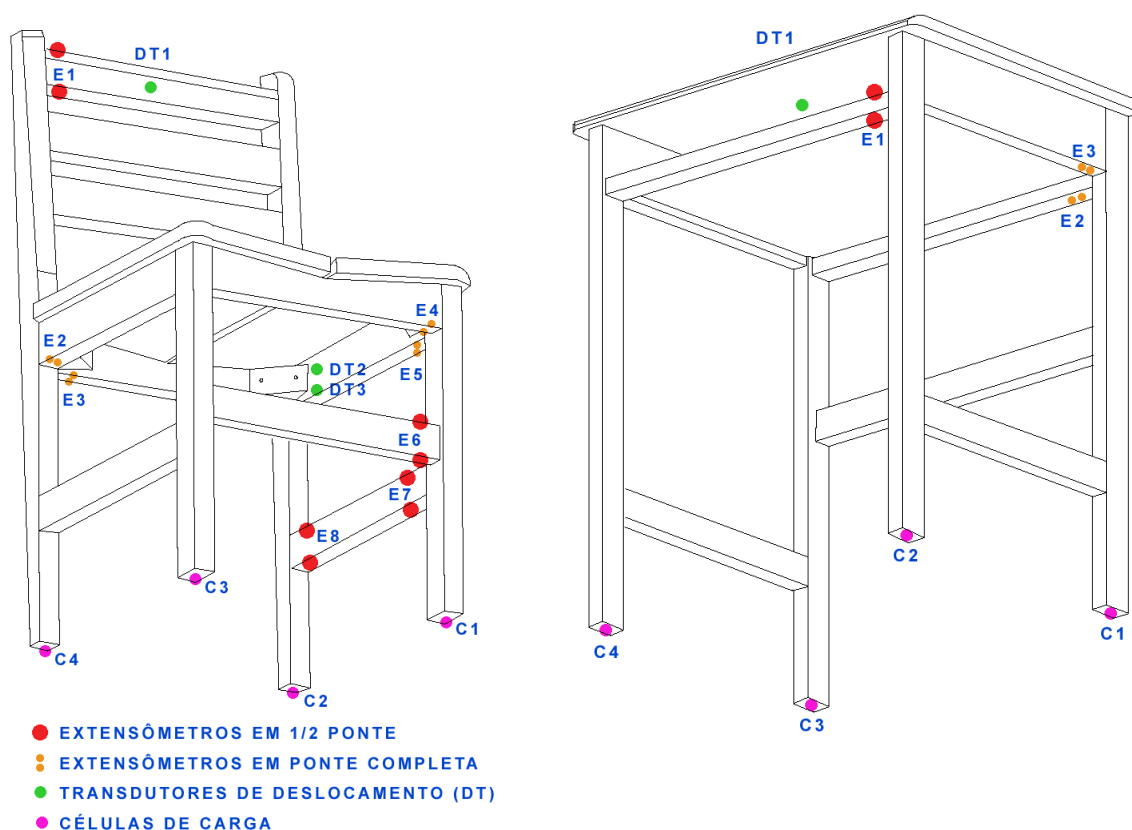


Figura 3.20 Instrumentação dos protótipos

Os ensaios foram executados após a calibração de todos os mecanismos de leitura. Foi utilizada uma placa conversora A/D, permitindo a leitura pelo computador durante o ensaio, e o programa de aquisição de dados AqDados, versão 7.2.

Como já exposto anteriormente, no caso dos móveis escolares, a NBR 14006/2003, revisada pela NBR 14006/2008, é a norma brasileira que estabelece os requisitos mínimos do conjunto-aluno para instituições de ensino.

Na definição das classes dimensionais, a norma utiliza como base a ISO 5970 por ainda não haver, em abrangência nacional, estudos antropométricos da população infanto-juvenil. Sabe-se da importância desse quesito para o correto desenho de móveis (Parcells et al, 1999; Panagiotopoulou et al, 2004; Jeong e Park, 1990). Entretanto, inicialmente, a análise aqui desenvolvida não pretende questionar as dimensões propostas pela norma, cabendo apenas utilizar os valores de carga estabelecidos para o tamanho de móveis da classe 5, destinada a

alunos cuja faixa de estatura pode variar entre 1620 a 1800 mm, conforme medidas apresentadas no protótipo de cadeira e mesa escolar aqui avaliados.

Na avaliação da resistência de cadeiras e mesas escolares, foram realizados os ensaios apresentados nas figuras 3.21 a 3.33.



Figura 3.21 Configuração geral do ensaio de carga estática no assento da cadeira

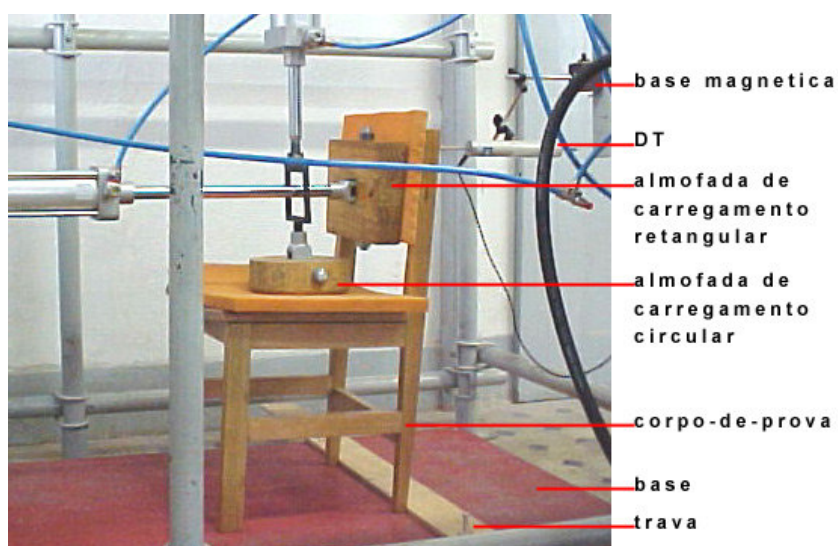


Figura 3.22 Configuração geral do ensaio de carga estática no encosto da cadeira



Figura 3.23 Configuração geral do ensaio de carregamento de fadiga no assento da cadeira

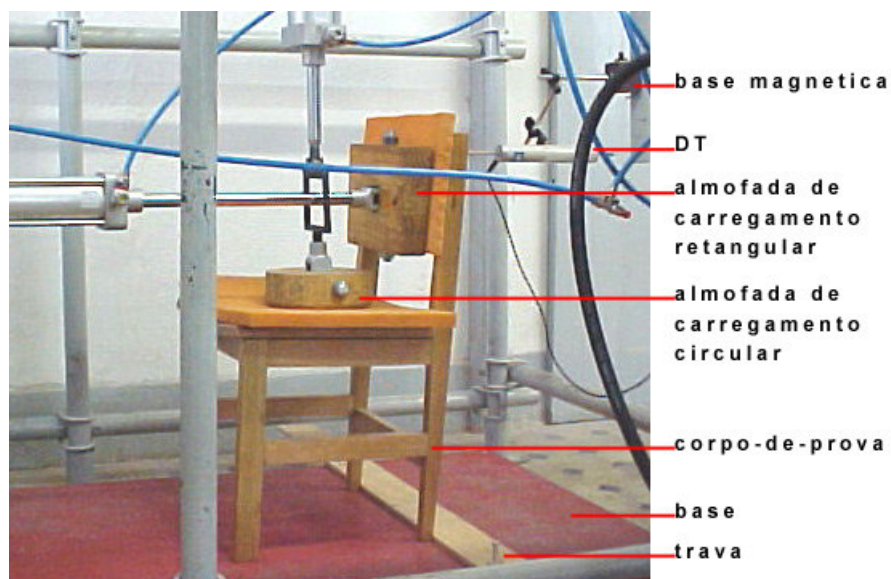


Figura 3.24 Configuração geral do ensaio de carregamento de fadiga no encosto da cadeira

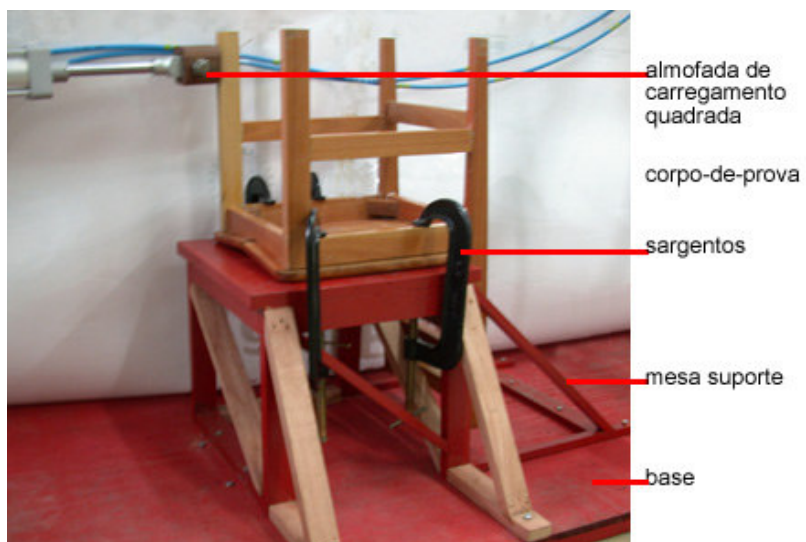


Figura 3.25 Configuração geral do ensaio de resistência ao esforço em uma perna frontal da cadeira

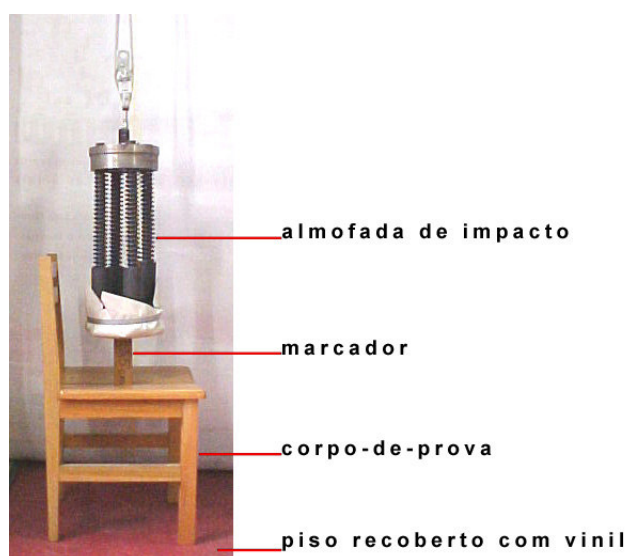


Figura 3.26 Configuração geral do ensaio de impacto no assento da cadeira

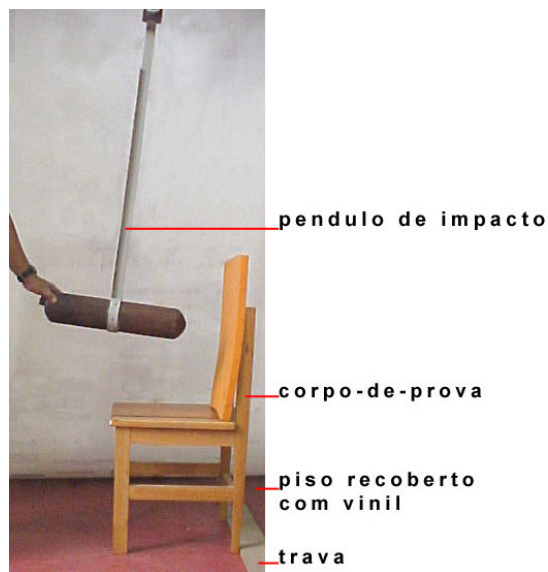


Figura 3.27 Configuração geral do ensaio de impacto no encosto da cadeira

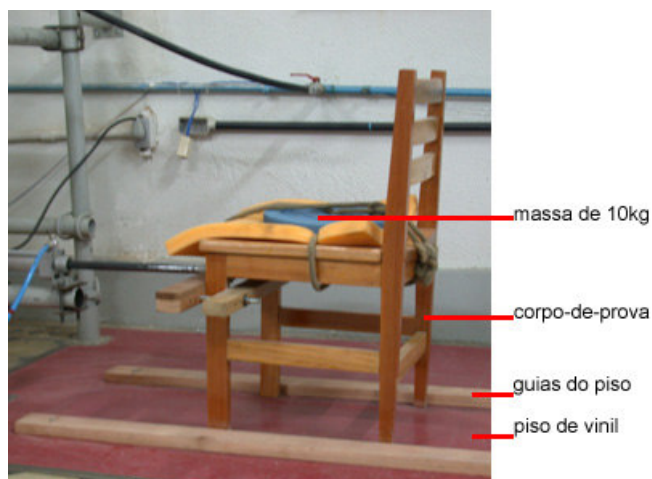


Figura 3.28 Configuração geral do ensaio das ponteiros dos pés da cadeira

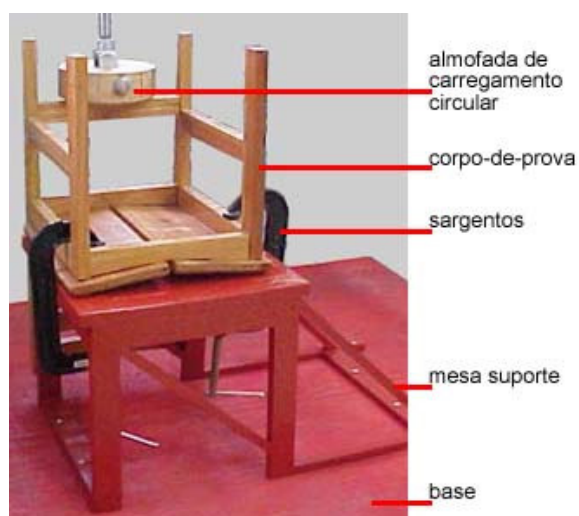


Figura 3.29 Configuração geral do ensaio de apoio para os pés da cadeira

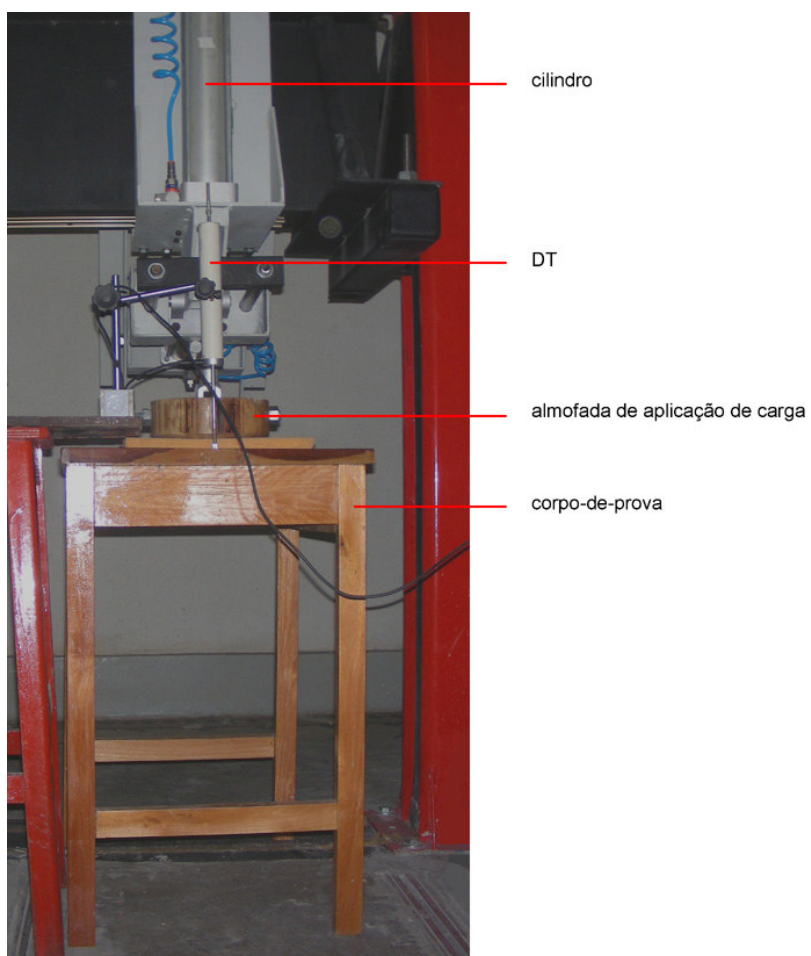


Figura 3.30 Configuração geral do ensaio de carga estática vertical da mesa

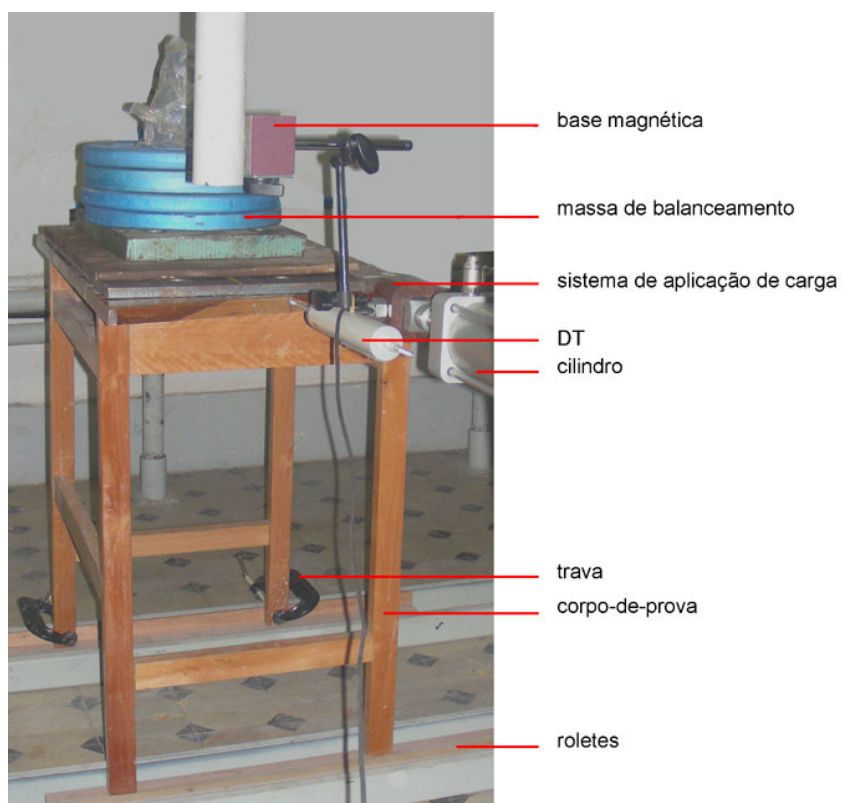


Figura 3.31 Configuração geral do ensaio de carga estática horizontal da mesa

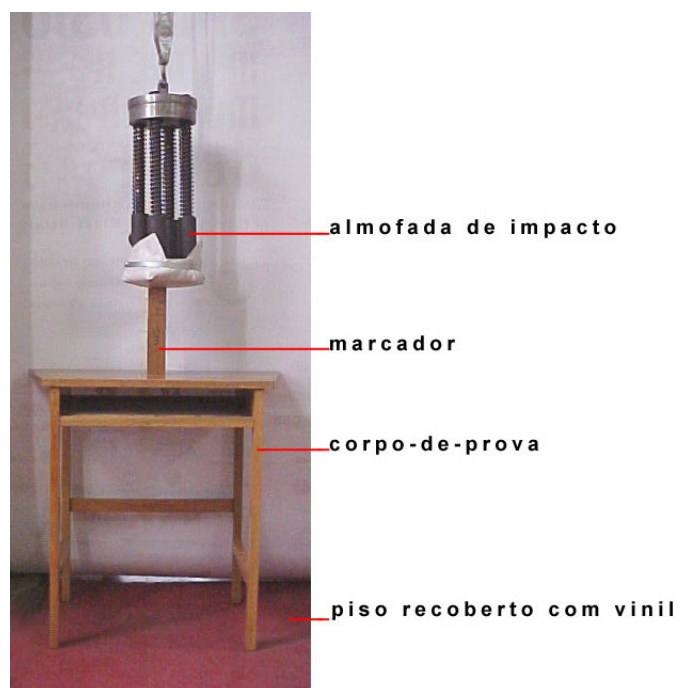


Figura 3.32 Configuração geral do ensaio de impacto vertical da mesa

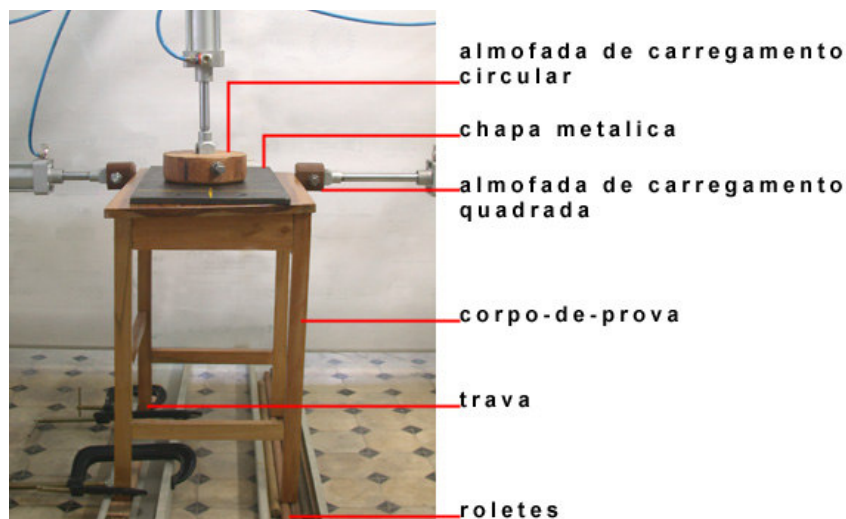


Figura 3.33 Configuração geral do ensaio de fadiga horizontal da mesa

Foram ensaiados três protótipos da cadeira escolar e dois da mesa escolar, sendo no mínimo um com ligações cavilhadas e o outro com espiga. Todos os protótipos foram construídos com *Eucalyptus grandis*, por ter sido a madeira de reflorestamento encontrada no mercado apesar de ter desempenho nos ensaios de ligação inferior aos do *Eucalyptus cloeziana*; e utilizou-se da cola PVA e não o adesivo Cascamite, pela facilidade de compra e preço mais competitivo.

Todos os ensaios aconteceram no Laboratório de Conformidade de Móveis do Centro de Pesquisa Avançada de Móveis, Madeiras e Novos Materiais da Escola de Engenharia, Departamento de Estruturas, UFMG.

# 4

## **RESULTADOS E DISCUSSÃO**

Nesta etapa do estudo, apresentam-se os resultados das avaliações experimentais, das análises estatísticas, das avaliações teóricas e do modelamento numérico efetuado. Estão também, neste capítulo, breves conclusões sobre os resultados obtidos. Vale ressaltar que toda a análise estatística foi realizada com o auxílio do programa Minitab, versão 14.

### **4.1 Apresentação dos Dados Resultantes da Avaliação Experimental das Ligações**

Segundo Bremer (1999, p.25), geralmente as ligações de madeira passam por diferentes estágios:

A fase I é caracterizada por um deslizamento sem transferência visível de carga devido à falta de encaixe da ligação. Na fase II, a ligação mostra um comportamento linear elástico, (...). A fase III é caracterizada pelo processo irreversível de aparecimento de

microfissuras. Finalmente, na fase IV, esses fenômenos continuam a se desenvolver até a completa ruptura.

Essas fases dos ensaios de flexão podem ser percebidas no gráfico apresentado na figura 4.1 e foram notados nos resultados alcançados na presente pesquisa.

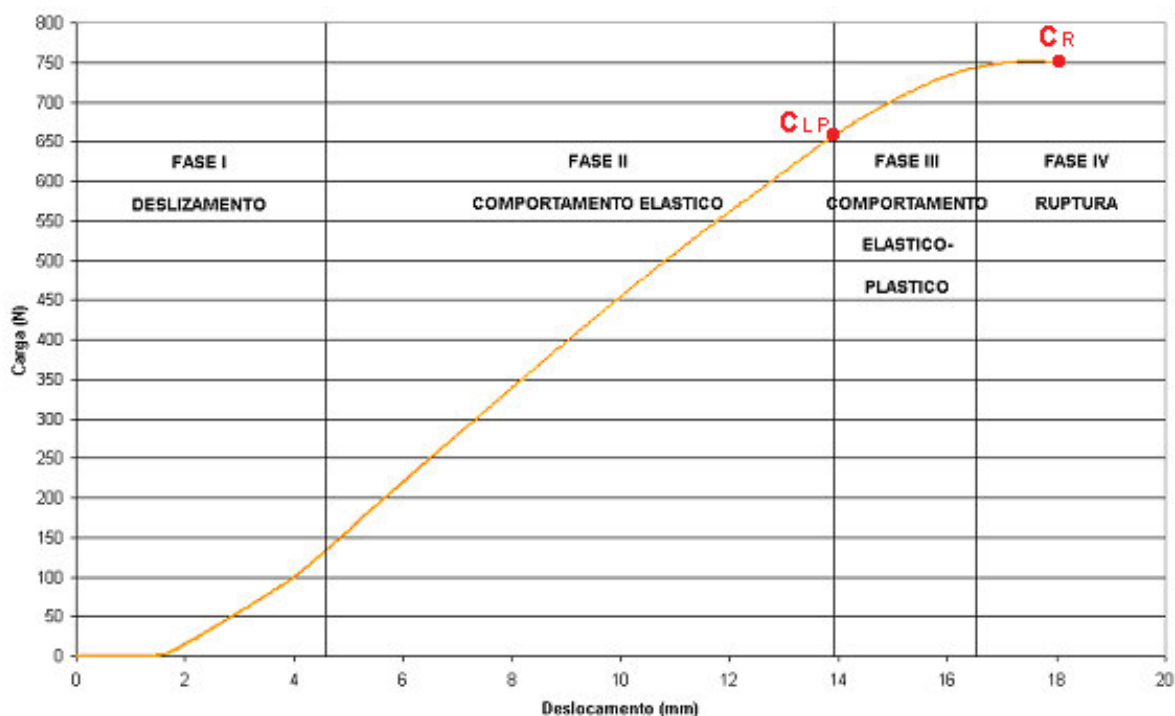


Figura 4.1 Curva carga x deslocamento – comportamento ideal de uma ligação dúctil

Fonte: Adaptado de BREMER, 1999.

Verificou-se, durante a realização dos ensaios, um aumento crescente da deformação com o aumento de carga até o ponto da perda da capacidade de resistência, como apresentado por Haller (1998). A fase de deslizamento foi minimizada a partir do diagrama de carregamento adotado, e o limite de resistência por vezes foi definido pela ruína atingida pela ruptura brusca da ligação ou pelo excesso de deformação, conforme apresentado no gráfico carga-deslocamento ilustrado na figura 4.2.

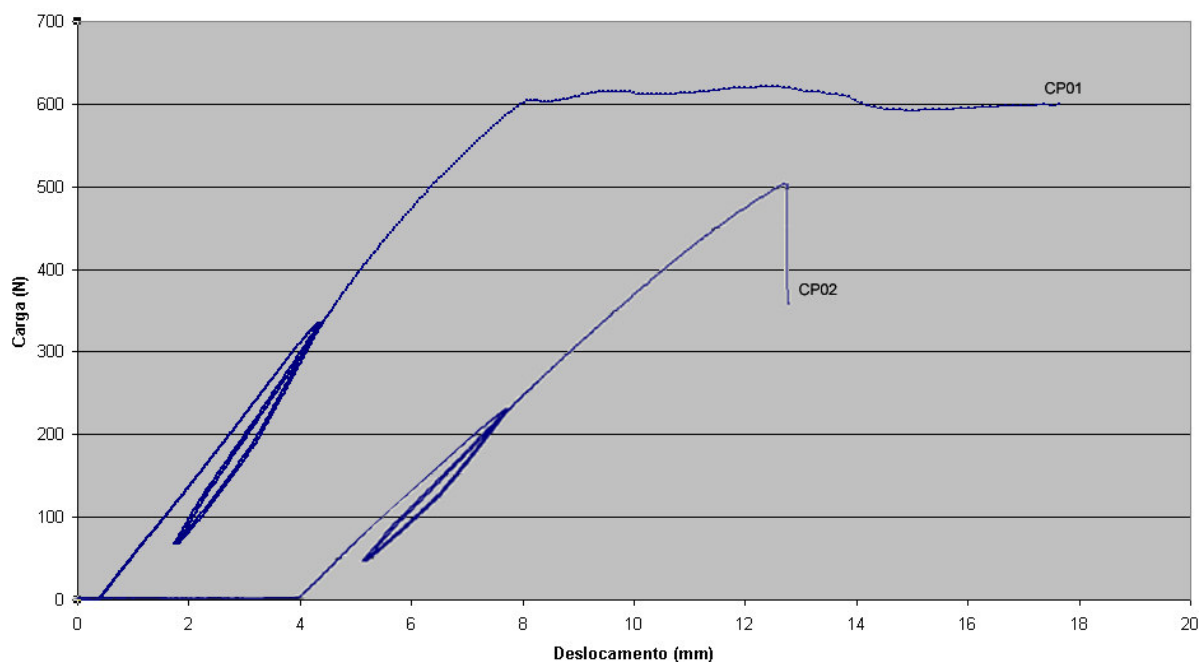


Figura 4.2 Exemplos de gráficos carga-deslocamento dos ensaios realizados

Os parâmetros utilizados para o estudo comparativo foram os seguintes:

1. força de arrancamento máximo ( $F_a$ ), que corresponde ao maior valor de carga observado no ensaio de arrancamento das cavilhas.
2. carga no limite de proporcionalidade ( $C_{LP}$ ), que corresponde ao ponto limite da relação linear entre a carga e o deslocamento no diagrama carga x deslocamento. Após esse limite, dá-se início à zona plástica, onde não há mais relação linear entre carga e deslocamento.
3. carga de ruptura ( $C_R$ ), que corresponde ao valor máximo de carga observado no ensaio de flexão.
4. rigidez rotacional ( $RR$ ), que corresponde à relação entre o momento aplicado e a rotação relativa entre as partes. Quanto maior o coeficiente angular, mais eficiente é a ligação quanto à rigidez rotacional.

De acordo com Racher (1995: p.1), o tipo de ligação depende fortemente do “layout” da estrutura e de como as peças trabalham. Segundo esse autor, a rigidez rotacional pode afetar a distribuição estrutural das forças e deformações das ligações.

Independentemente da bibliografia pesquisada, percebe-se que o tratamento das ligações em seu comportamento semi-rígido, como é o caso das ligações cavilhadas e espigadas aqui estudadas, permite obter, ao final, uma estrutura mais leve e de menor custo; os momentos fletores nas peças ligadas são redistribuídos e, conseqüentemente, é reduzida a quantidade de material usado.

No estudo proposto, a rigidez rotacional foi determinada após a ligação passar pelos dois ciclos de carga, estando, assim, eliminada a fase de ajuste inicial. O valor final foi determinado pelo coeficiente angular no trecho linear da curva do gráfico que apresenta a variação do momento (em N.cm) em função da rotação da ligação (em rad) entre 10 e 50% do valor da carga máxima.

Após a obtenção dos dados, foram traçados os gráficos para definição da rigidez rotacional (em N.cm/rad) de cada CP ensaiado (figuras 4.3 e 4.4).

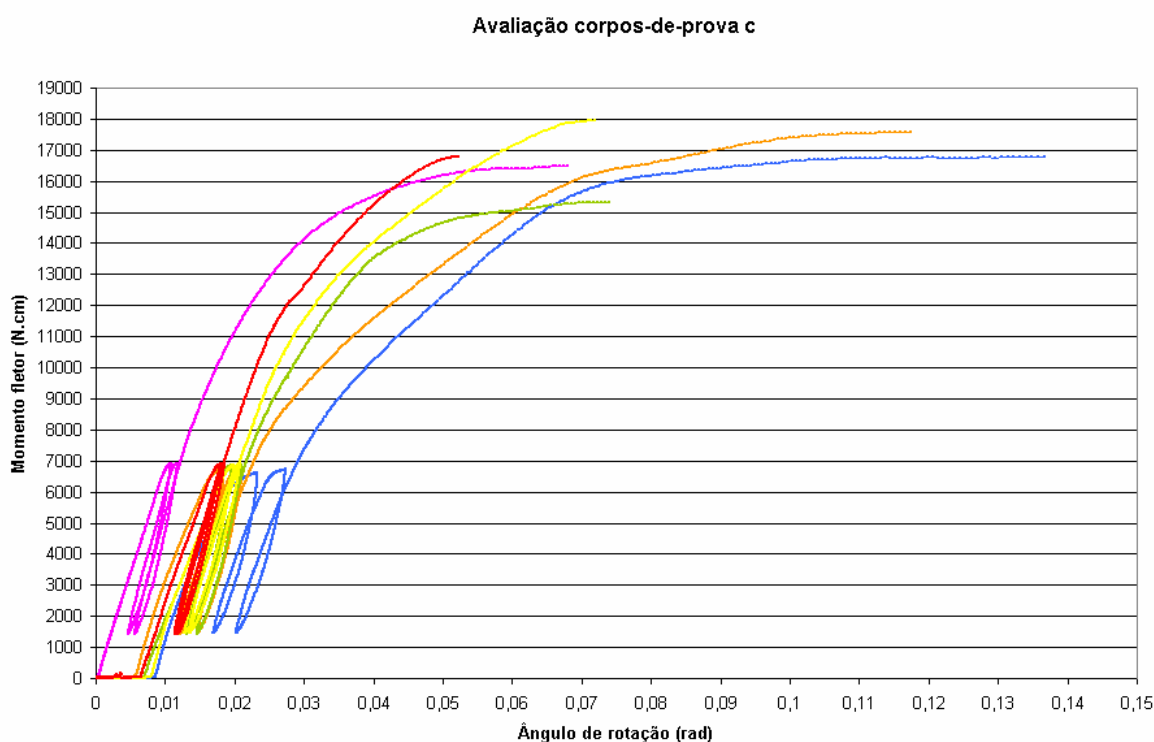


Figura 4.3 Gráfico Momento x Rotação do ensaio de flexão com a ligação espigada, amostra C, adesivo: PVa, madeira: *E. cloeziana*

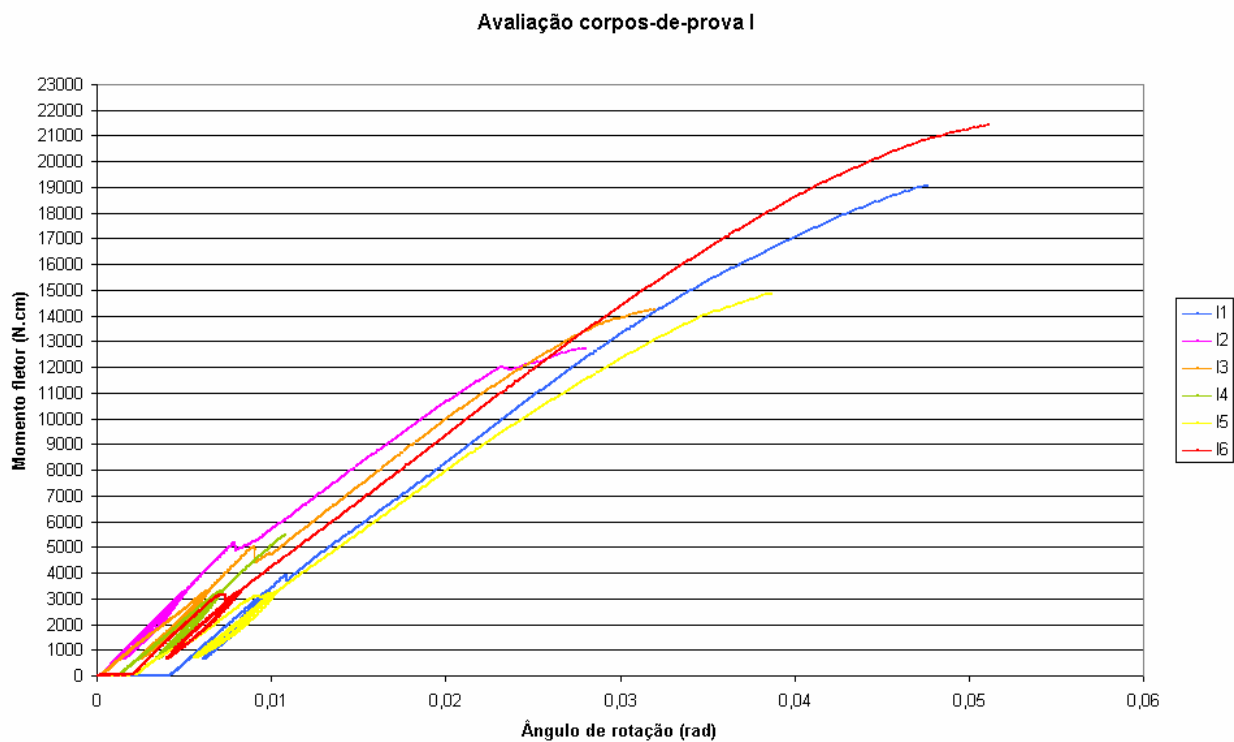


Figura 4.4 Gráfico Momento x Rotação do ensaio de flexão com a ligação cavilhada, amostra L, adesivo: Cascamite, madeira: *E. grandis*

Com o tratamento dos resultados, foram obtidas médias e desvios-padrão para densidade, compressão paralela, força de arrancamento, carga no limite de proporcionalidade e de ruptura e rigidez rotacional. Esses dados são apresentados nas tabelas 4.1, 4.2, 4.3 e 4.4, e os resultados completos estão detalhados no anexo C.

TABELA 4.1

Resultados dos ensaios de flexão com ligações cavilhadas em peças de madeira: *E. grandis*

Amostra	Diâmetro cavilha (cm)	Comprimento embutimento cavilha (cm)	Adesivo	Densidade aparente média (kg/m <sup>3</sup> ) e desvio-padrão		Compressão paralela média (MPa) e desvio-padrão		Força de arrancamento média (N) e desvio-padrão		Carga limite proporcion. média (N) e desvio-padrão		Carga de ruptura – média (N) e desvio-padrão		Rigidez rotacional média (KN.cm/rad) e desvio-padrão	
G	0,6	5	PVA	506,66	60	50,75	3	1428	195	165	6	286	15	388	17,5
H		6,5		556,80	60	64,48	11	1610	179	245	2	356	17	421	12,2
M		8		628,76	0	75,49	0	2024	569	307	3	429	10	483	20,3
I	0,8	5		592,02	62	69,47	11	1718	157	220	8	368	11	431	17,2
J		6,5		552,93	83	64,25	13	2031	173	282	5	443	9	509	9,39
N		8		616,66	30	73,83	4	2470	336	354	8	541	14	560	17,3
K	1,0	5		596,62	79	72,33	8	2139	610	308	4	428	13	478	11,9
L		6,5		628,76	0	75,49	0	2732	175	347	5	566	11	529	16,9
O		8		604,57	37	72,16	5	3185	124	407	8	607	20	617	21,1
G	0,6	5	Cascamite	557,86	105	54,40	6	1778	326	158	8	324	11	362	20,1
H		6,5		535,35	63	56,18	8	2420	454	202	5	351	9	463	7,90
M		8		591,28	62	69,06	10	3016	166	230	5	439	11	565	11,8
I	0,8	5		571,28	62	68,08	7	2341	948	201	5	361	8	496	12,3
J		6,5		504,48	60	53,75	10	3117	127	253	4	473	11	527	11,5
N		8		627,92	0	74,82	0	3585	798	323	5	557	7	614	12,0
K	1,0	5		564,41	75	66,39	11	3288	329	250	8	471	23	592	8,38
L		6,5		622,06	28	72,67	4	3727	637	330	6	557	10	644	8,36
O		8		627,92	0	74,82	0	4738	4	401	3	624	11	716	279

TABELA 4.2

Resultados dos ensaios de flexão com ligações cavilhadas em peças de madeira: *E. cloeziana*

Amostra	Diâmetro cavilha (cm)	Comprimento embutimento cavilha (cm)	Adesivo	Densidade aparente média (kg/m <sup>3</sup> ) e desvio-padrão		Compressão paralela média (MPa) e desvio-padrão		Força de arrancamento média (N) e desvio-padrão		Carga limite proporcion. média (N) e desvio-padrão		Carga de ruptura – média (N) e desvio-padrão		Rigidez rotacional média (KN.cm/rad) e desvio-padrão	
G	0,6	5	PVA	818,12	86	63,48	9	1395	82	179	6	294	12	456	22,9
H		6,5		738,71	128	74,44	6	1899	301	257	9	324	6	529	22,7
M		8		711,83	67	78,38	5	2480	483	310	5	420	9	655	26,1
I	0,8	5		786,10	52	69,75	11	1978	155	248	6	300	13	535	7,30
J		6,5		699,70	137	76,15	14	2397	49	311	7	414	19	693	13,1
N		8		773,18	161	62,17	18	2719	31	350	2	468	18	780	15,1
K	1,0	5		838,14	85	47,09	2	2465	63	315	8	407	7	570	21,0
L		6,5		687,12	121	62,45	16	2775	132	399	8	470	9	695	30,5
O		8		683,50	109	73,54	11	2871	104	461	6	525	12	823	15,5
G	0,6	5	Cascamite	678,72	58	63,01	9	2176	706	151	8	242	13	404	13,5
H		6,5		597,68	45	80,56	11	2605	695	182	6	362	12	471	21,2
M		8		532,20	0	82,03	0	3208	43	230	5	408	5	604	17,3
I	0,8	5		824,04	42	64,60	8	2686	202	202	6	324	16	444	22,6
J		6,5		708,30	144	78,44	10	3382	253	258	6	404	5	530	18,4
N		8		666,62	104	71,59	13	4197	518	310	4	503	18	703	38,4
K	1,0	5		670,60	101	81,50	1	3466	993	256	6	415	13	646	7,42
L		6,5		573,22	70	78,92	8	4244	528	306	8	508	5	786	20,3
O		8		535,75	9	82,03	0	4905	529	381	6	560	10	913	20,5

TABELA 4.3

Resultados dos ensaios de flexão com ligações espigadas em peças de madeira: *E. Grandis*

Amostra	Altura da espiga (cm)	Comprimento de embutimento da espiga (cm)	Adesivo	Densidade aparente média (kg/m <sup>3</sup> ) e desvio -padrão		Compressão paralela média (MPa) e desvio-padrão		Carga limite proporcion. média (N) e desvio-padrão		Carga de ruptura – flexão média (N) e desvio-padrão		Rigidez rotacional média (KN.cm/rad) e desvio-padrão	
A	2,50	1,75	PVA	569,50	46	62,11	10	284	10	345	10	459	33,5
B	3,25	1,75		654,92	163	51,05	0	318	7	388	8	518	17,9
C	3,25	2,50		602,92	71	48,84	0	357	16	510	18	586	16,4
D	3,25	3,25		585,63	70	50,81	5	464	0	628	35	587	34,7
E	4,25	1,75		648,45	0	48,84	0	359	15	440	15	655	29,9
F	5,00	1,75		523,10	62	59,91	6	427	0	484	19	816	31,8
A	2,50	1,75	Cascamite	562,96	66	66,03	10	286	16	331	18	495	8,36
B	3,25	1,75		593,62	27	65,60	7	352	29	365	7	621	16,1
C	3,25	2,50		609,37	67	55,77	4	400	3	499	16	659	12,6
D	3,25	3,25		608,06	111	54,14	6	525	9	585	32	720	30,3
E	4,25	1,75		559,73	98	55,72	5	394	3	429	23	788	25,1
F	5,00	1,75		520,47	74	64,42	6	426	16	457	25	879	38,9

TABELA 4.4

Resultados dos ensaios de flexão com ligações espigadas em peças de madeira: *E. Cloeziana*

Amostra	Altura da espiga (cm)	Comprimento de embutimento da espiga (cm)	Adesivo	Densidade aparente média (kg/m <sup>3</sup> ) e desvio-padrão		Compressão paralela média (MPa) e desvio-padrão		Carga limite proporcion. média (N) e desvio-padrão		Carga de ruptura – flexão média (N) e desvio-padrão		Rigidez rotacional média (KN.cm/rad) e desvio-padrão	
A	2,50	1,75	PVA	798,94	28	68,81	10	309	13	446	30	553	33,9
B	3,25	1,75		804,20	37	68,22	7	342	9	513	12	638	39,8
C	3,25	2,50		681,34	84	59,84	10	433	29	638	35	678	18,2
D	3,25	3,25		679,74	88	84,10	2	585	41	819	24	741	32,0
E	4,25	1,75		686,65	82	116,04	7	419	25	554	15	823	22,5
F	5,00	1,75		767,59	35	74,03	3	464	3	633	26	932	56,6
A	2,50	1,75	Cascamite	686,94	69	70,33	6	342	25	406	12	568	44,0
B	3,25	1,75		722,94	73	68,72	5	377	15	470	24	679	45,5
C	3,25	2,50		606,82	58	78,08	8	441	10	628	14	756	16,3
D	3,25	3,25		577,70	0	82,03	0	534	19	687	21	827	11,6
E	4,25	1,75		729,34	45	63,66	9	407	16	524	21	925	41,8
F	5,00	1,75		794,28	96	74,74	6	529	6	545	14	995	9,37

## 4.2. Discussão dos Dados Resultantes da Avaliação Experimental das Ligações

A partir das respostas obtidas dos ensaios experimentais, foi possível desenvolver uma análise teórica para representar o comportamento estrutural das ligações. Tais soluções podem ser descritas por meio de equações em função dos parâmetros envolvidos no problema: propriedades físicas (densidade e umidade) e mecânicas das madeiras usadas, características das colas empregadas, dimensões da espiga (altura e comprimento de embutimento), espaçamento e dimensões das cavilhas (diâmetro e comprimento de embutimento).

Foram realizados ensaios para definição da umidade e determinação da densidade aparente de cada amostra. Percebeu-se que a espécie *Eucalyptus grandis* estabilizou-se com um teor de umidade médio de 9,44% (desvio padrão de 0,22) e a *Eucalyptus cloeziana* com um teor de umidade médio de 13,11% (desvio padrão de 0,82). Essa pequena variação dos teores de umidade encontrados nas amostras ocorreu em função de a madeira ter sido secada artificialmente e do armazenamento dos CPs por, no mínimo, sete dias antes do início dos ensaios em local sob condições de temperatura e umidade controladas. Sendo assim, a umidade foi descartada como variável. Apenas a densidade aparente seria considerada na análise dos ensaios realizados. Entretanto a análise de regressão linear múltipla mostrou que a contribuição dessa variável não era significativa, tendo sido este parâmetro retirado das análises.

As propriedades mecânicas das duas espécies de madeira aqui utilizadas, a saber resistência à compressão paralela, resistência à compressão normal, módulo de elasticidade, resistência ao cisalhamento, resistência ao cisalhamento na linha adesiva, resistência à tração paralela, resistência à tração normal e flexão, foram determinadas por meio da caracterização completa de cada lote, conforme ensaios previstos na NBR 7190/1997. Entretanto, nos CPs das ligações, não foi possível realizar novamente todos esses ensaios e foi apenas determinada a resistência à compressão paralela. Dessa maneira, essa foi então a única variável mecânica considerada na análise dos ensaios

com cavilha e com espiga. E, como já explicado, a partir da correlação entre a resistência à compressão paralela e a densidade estipulou-se o módulo de elasticidade de cada CP.

Na avaliação dos adesivos, vale ressaltar que existem diversos pontos a serem considerados como, por exemplo, o seu comportamento desde a sua elaboração até a conclusão da sua cura e obtenção da ligação adesiva. Os fatores mais importantes, segundo Carrasco (1984: p. 28), são “adesão, tempo de armazenamento, vida útil após sua preparação, adesividade, penetração e tempo de cura ou velocidade de desenvolvimento da resistência.”

No caso dos adesivos usados, ambos foram guardados em locais sob condições controladas e alterações das propriedades dos adesivos não foram visualmente percebidas. As peças, antes da aplicação dos adesivos, eram limpas: fazia-se a remoção do pó ou de qualquer material que poderia impedir o contato do adesivo com o aderente e prejudicar a ligação.

O tempo de cura de cada adesivo, tempo no qual o adesivo recém-preparado começa a desenvolver sua resistência, foi respeitado e as amostras ficavam armazenadas por, no mínimo, sete dias antes do início dos ensaios em local sob condições de temperatura e umidade controladas, diminuindo a possibilidade de os adesivos sofrerem retrações exageradas.

Como a espessura da linha adesiva determina a resistência e rigidez na junta adesiva, procurou-se embeber as conexões nos adesivos, cobrindo todos os lados da espiga, das cavilhas e das fêmeas. Trabalhou-se com folga mínima, ou seja, com uma linha adesiva a mais fina possível<sup>1</sup>. Ao abrir as peças ao meio, no final de todos os ensaios, percebeu-

---

<sup>1</sup> Sabe-se que a linha adesiva deve ser tão delgada quanto possível, sem chegar a faltar adesivo para a adesão. Segundo Carrasco (1984: p. 351), “as razões que demonstram a conveniência das películas delgadas são: necessidade de uma força maior para deformar uma película delgada, se o adesivo é rígido, uma película delgada é mais resistente ao fissuramento quando a ligação é solicitada; quanto maior o volume do adesivo de uma ligação adesiva, maior é a probabilidade

se que as linhas adesivas eram contínuas (sem falhas) e delgadas (+- 0,20 mm), concluindo-se que o processo de colagem foi eficiente.

O próximo passo foi a análise teórica das ligações, uma vez que, segundo Gonzaga (2003: p.109),

a modelagem analítica consiste em encontrar funções que descrevam um conjunto de observações experimentais. Tais funções são determinadas pela adaptação de um modelo proposto, que depende de parâmetros ajustáveis e fornece os coeficientes apropriados.

Entender os resultados obtidos levando-se em conta as duas espécies de madeira usadas, os dois tipos de cola empregados e a variação das dimensões e arranjo das ligações foi de suma importância para a avaliação dos dados coletados.

#### 4.2.1. Análise Teórica: Ligações Cavilhadas

A primeira comparação realizada foi entre a força de arrancamento ( $F_a$ ) experimental e a calculada com a equação (14) proposta por Eckelman (1969b), sendo a diferença média encontrada entre os valores de 12%.<sup>2</sup>

$$F_a = 0,45 D L^{0,89} (S_1 + S_2) a.b, \quad (14)$$

sendo  $F_a$  a força de arrancamento,  $D$  o diâmetro da cavilha,  $L$  o comprimento de embutimento,  $S_1$  e  $S_2$  a resistência ao cisalhamento paralela às fibras da madeira utilizada na fabricação da travessa e da cavilha, respectivamente, além das variáveis  $a$  e  $b$  que representam a dependência com o tipo de adesivo usado e a folga (resultado da diferença entre o diâmetro do furo e o diâmetro da cavilha).

---

do aparecimento de bolhas de ar, partículas sólidas ou outras fontes de enfraquecimento, o que prejudica a ligação.”

<sup>2</sup> Os dados completos dessa análise estão discriminados no anexo C.

Foram utilizados os seguintes valores para a resistência ao cisalhamento paralela às fibras da madeira usada na travessa e na cavilha: 10 MPa para *Eucalyptus grandis*, 12,9 MPa para *Eucalyptus cloeziana* e 6,5 MPa para *Marfim* e o valor único de 0,20mm para a diferença entre o diâmetro do furo e o diâmetro da cavilha.

Para determinação do momento de ruptura na flexão  $M_R$ , foram empregadas as equações (4.1) e (4.2), idealizadas por Eckelman (1971b). Comparando os valores calculados com os obtidos nos ensaios de flexão, obteve-se uma diferença máxima de 18%,

$$M = F_a \cdot d, \quad (4.1)$$

$$d = d_1 + d_2/2, \quad (4.2)$$

sendo  $F_a$  a força de arrancamento,  $d$  que é igual a  $d_1$  distância entre os eixos das cavilhas mais  $d_2$  distância desse eixo até a metade da extremidade da peça.

Ao comparar os valores encontrados nos ensaios com os obtidos com a formulação proposta por Zhang, Quin e Tackett (2001), equação (4.3), a diferença máxima foi de 132%,

$$M = (d_1/2 + w/3 + e/3) T, \quad (4.3)$$

sendo  $M$  o momento resistente,  $d_1$  a distância entre os eixos das cavilhas,  $w$  a altura da travessa,  $e$  a distância entre o eixo central da travessa e a linha neutra e  $T$  a força de arrancamento de uma única cavilha.

Acredita-se que essa discrepância ocorreu porque a equação em questão não considera a espécie de madeira usada e o adesivo empregado, uma vez que o valor de  $e$  (distância do eixo da travessa ao eixo neutro) adotado foi o valor médio usado para qualquer espécie de madeira, conforme Zhang, Quin e Tackett (2001: p.34).

Foram determinadas equações de regressão, considerando o momento de ruptura e o momento de plastificação e foram obtidas as equações 4.4 e 4.5:

$$M_R = C \cdot D^{0,65} \cdot L^{0,7} \cdot f_{c,0}^E \cdot d, \quad (4.4)$$

$$M_{LP} = F \cdot D^{0,95} \cdot L^{0,9} \cdot f_{c,0}^G \cdot d, \quad (4.5)$$

sendo  $M_R$  o momento de ruptura,  $M_{LP}$  o momento no limite de proporcionalidade,  $D$  o diâmetro da cavilha,  $L$  o comprimento de embutimento da cavilha,  $f_{c,0}$  a resistência à compressão paralela da madeira usada na peça,  $d$  o valor do braço de alavanca utilizado (distância entre a ligação e o local de aplicação da força na travessa, aqui constante e igual a 30cm),  $C$ ,  $E$ ,  $F$  e  $G$  valores de ajuste em função do adesivo e da madeira empregada, conforme tabelas 4.5 e 4.6.

TABELA 4.5

Valores de ajuste para cálculo do momento de ruptura  $M_R$  da ligação cavilhada

<b>Adesivo</b>	<b>C</b>
PVA	100
Cascamite	95
<b>Madeira</b>	<b>E</b>
<i>Eucalyptus cloeziana</i>	0,05
<i>Eucalyptus grandis</i>	0,10

TABELA 4.6

Valores de ajuste para cálculo do momento no limite de proporcionalidade  $M_{LP}$  da ligação cavilhada

<b>Adesivo</b>	<b>F</b>
PVA	56,25
Cascamite	46,50
<b>Madeira</b>	<b>G</b>
<i>Eucalyptus cloeziana</i>	0,050
<i>Eucalyptus grandis</i>	0,055

Vale ressaltar que as equações 4.4 e 4.5 são uma compilação dos resultados obtidos nas avaliações estatísticas dos dados de cada espécie de madeira empregada e o adesivo

adotado. A significância da regressão e a análise da tabela ANOVA encontram-se nas tabelas 4.7 e 4.8.

TABELA 4.7

Equação de regressão em função de: carga de ruptura ( $C_R$ ) x diâmetro da cavilha ( $D$ ) x comprimento de embutimento da cavilha ( $L$ ) x a resistência à compressão paralela da madeira usada na peça ( $f_{c,0}$ ) para madeira de *E. grandis* e *E. cloeziana* e adesivo PVA e Cascamite

Discriminação		Observações
Modelo matemático	$\log C_R = 1,96 + 0,774 \log D + 0,789 \log L + 0,0679 \log f_{c,0}$	para <i>E. grandis</i> e PVA
Coefficiente de determinação múltipla	$R^2 = 97,1\%$	altamente significativa
Teste de F e P	F = 548,90 e P = 0,000	
Variáveis	<i>Constante</i> $p = 0,000$ <i>D (cm)</i> $p = 0,000$ <i>L (cm)</i> $p = 0,000$ <i>f<sub>c,0</sub>(MPa)</i> $p = 0,100$	altamente significativa altamente significativa altamente significativa *
Modelo matemático	$\log C_R = 2,20 + 0,794 \log D + 0,743 \log L - 0,0299 \log f_{c,0}$	para <i>E. grandis</i> e Cascamite
Coefficiente de determinação múltipla	$R^2 = 95,1\%$	altamente significativa
Teste de F e P	F = 301,26 e P = 0,000	
Variáveis	<i>Constante</i> $p = 0,000$ <i>D (cm)</i> $p = 0,000$ <i>L (cm)</i> $p = 0,000$ <i>f<sub>c,0</sub>(MPa)</i> $p = 0,523$	altamente significativa altamente significativa altamente significativa *
Modelo matemático	$\log C_R = 2,20 + 0,557 \log D + 0,792 \log L + 0,102 \log f_{c,0}$	para <i>E. cloeziana</i> e PVA
Coefficiente de determinação múltipla	$R^2 = 91,7\%$	altamente significativa
Teste de F e P	F = 175,74 e P = 0,000	
Variáveis	<i>Constante</i> $p = 0,000$ <i>D (cm)</i> $p = 0,000$ <i>L (cm)</i> $p = 0,000$ <i>f<sub>c,0</sub>(MPa)</i> $p = 0,029$	altamente significativa altamente significativa altamente significativa altamente significativa
Modelo matemático	$\log C_R = 1,58 + 0,744 \log D + 0,842 \log L + 0,228 \log f_{c,0}$	para <i>E. cloeziana</i> e Cascamite
Coefficiente de determinação múltipla	$R^2 = 95,7\%$	altamente significativa
Teste de F e P	F = 371,60 e P = 0,000	
Variáveis	<i>Constante</i> $p = 0,000$ <i>D (cm)</i> $p = 0,000$ <i>L (cm)</i> $p = 0,000$ <i>f<sub>c,0</sub>(MPa)</i> $p = 0,000$	altamente significativa altamente significativa altamente significativa altamente significativa

\* Mesmo que o valor de  $p$  da resistência à compressão tenha sido elevado, essa é a variável que representa a espécie de madeira adotada, sendo importante tê-la na formulação.

Como a resistência à compressão paralela da madeira usada na peça ( $f_{c,0}$ ) é uma variável independente aleatória, não foi aplicado o teste de Durbin-Watson, conforme Hoffmann e Vieira (1977: p.226).

TABELA 4.8

Equações de regressão obtidos em função de: carga no limite de proporcionalidade ( $C_{LP}$ ) x diâmetro da cavilha ( $D$ ) x comprimento de embutimento da cavilha ( $L$ ) x a resistência à compressão paralela da madeira usada na peça ( $f_{c,0}$ ) para madeira de *E. grandis* e *E. cloeziana* e adeviso PVA e Cascamite

Discriminação		Observações									
Modelo matemático	$\log C_{LP} = 0,885 + 0,661 \log D + 0,940 \log L + 0,210 \log f_{c,0}$	para <i>E. grandis</i> e PVA									
Coefficiente de determinação múltipla	$R^2 = 85,3\%$	altamente significativa									
Teste de F e P	F = 94,86 e P = 0,000										
Variáveis	<table style="border: none;"> <tr> <td style="padding-right: 10px;">Constante</td> <td><math>p = 0,000</math></td> <td rowspan="4" style="vertical-align: top;">altamente significativa altamente significativa altamente significativa altamente significativa</td> </tr> <tr> <td style="padding-right: 10px;"><math>D (cm)</math></td> <td><math>p = 0,000</math></td> </tr> <tr> <td style="padding-right: 10px;"><math>L (cm)</math></td> <td><math>p = 0,000</math></td> </tr> <tr> <td style="padding-right: 10px;"><math>f_{c,0}(MPa)</math></td> <td><math>p = 0,052</math></td> </tr> </table>	Constante	$p = 0,000$	altamente significativa altamente significativa altamente significativa altamente significativa	$D (cm)$	$p = 0,000$	$L (cm)$	$p = 0,000$	$f_{c,0}(MPa)$	$p = 0,052$	
Constante	$p = 0,000$	altamente significativa altamente significativa altamente significativa altamente significativa									
$D (cm)$	$p = 0,000$										
$L (cm)$	$p = 0,000$										
$f_{c,0}(MPa)$	$p = 0,052$										
Modelo matemático	$\log C_{LP} = 1,37 + 1,05 \log D + 1,07 \log L - 0,108 \log f_{c,0}$	para <i>E. grandis</i> e Cascamite									
Coefficiente de determinação múltipla	$R^2 = 91,9\%$	altamente significativa									
Teste de F e P	F = 177,91 e P = 0,000										
Variáveis	<table style="border: none;"> <tr> <td style="padding-right: 10px;">Constante</td> <td><math>p = 0,000</math></td> <td rowspan="4" style="vertical-align: top;">altamente significativa altamente significativa altamente significativa *</td> </tr> <tr> <td style="padding-right: 10px;"><math>D (cm)</math></td> <td><math>p = 0,000</math></td> </tr> <tr> <td style="padding-right: 10px;"><math>L (cm)</math></td> <td><math>p = 0,000</math></td> </tr> <tr> <td style="padding-right: 10px;"><math>f_{c,0}(MPa)</math></td> <td><math>p = 0,189</math></td> </tr> </table>	Constante	$p = 0,000$	altamente significativa altamente significativa altamente significativa *	$D (cm)$	$p = 0,000$	$L (cm)$	$p = 0,000$	$f_{c,0}(MPa)$	$p = 0,189$	
Constante	$p = 0,000$	altamente significativa altamente significativa altamente significativa *									
$D (cm)$	$p = 0,000$										
$L (cm)$	$p = 0,000$										
$f_{c,0}(MPa)$	$p = 0,189$										
Modelo matemático	$\log C_{LP} = 1,89 + 1,10 \log D + 0,654 \log L + 0,146 \log f_{c,0}$	para <i>E. cloeziana</i> e PVA									
Coefficiente de determinação múltipla	$R^2 = 83,6\%$	altamente significativa									
Teste de F e P	F = 81,36 e P = 0,000										
Variáveis	<table style="border: none;"> <tr> <td style="padding-right: 10px;">Constante</td> <td><math>p = 0,000</math></td> <td rowspan="4" style="vertical-align: top;">altamente significativa altamente significativa altamente significativa *</td> </tr> <tr> <td style="padding-right: 10px;"><math>D (cm)</math></td> <td><math>p = 0,000</math></td> </tr> <tr> <td style="padding-right: 10px;"><math>L (cm)</math></td> <td><math>p = 0,000</math></td> </tr> <tr> <td style="padding-right: 10px;"><math>f_{c,0}(MPa)</math></td> <td><math>p = 0,127</math></td> </tr> </table>	Constante	$p = 0,000$	altamente significativa altamente significativa altamente significativa *	$D (cm)$	$p = 0,000$	$L (cm)$	$p = 0,000$	$f_{c,0}(MPa)$	$p = 0,127$	
Constante	$p = 0,000$	altamente significativa altamente significativa altamente significativa *									
$D (cm)$	$p = 0,000$										
$L (cm)$	$p = 0,000$										
$f_{c,0}(MPa)$	$p = 0,127$										
Modelo matemático	$\log C_{LP} = 1,23 + 0,949 \log D + 0,913 \log L + 0,047 \log f_{c,0}$	para <i>E. cloeziana</i> e Cascamite									
Coefficiente de determinação múltipla	$R^2 = 85,8\%$	altamente significativa									
Teste de F e P	F = 100,69 e P = 0,000										
Variáveis	<table style="border: none;"> <tr> <td style="padding-right: 10px;">Constante</td> <td><math>p = 0,000</math></td> <td rowspan="4" style="vertical-align: top;">altamente significativa altamente significativa altamente significativa *</td> </tr> <tr> <td style="padding-right: 10px;"><math>D (cm)</math></td> <td><math>p = 0,000</math></td> </tr> <tr> <td style="padding-right: 10px;"><math>L (cm)</math></td> <td><math>p = 0,000</math></td> </tr> <tr> <td style="padding-right: 10px;"><math>f_{c,0}(MPa)</math></td> <td><math>p = 0,685</math></td> </tr> </table>	Constante	$p = 0,000$	altamente significativa altamente significativa altamente significativa *	$D (cm)$	$p = 0,000$	$L (cm)$	$p = 0,000$	$f_{c,0}(MPa)$	$p = 0,685$	
Constante	$p = 0,000$	altamente significativa altamente significativa altamente significativa *									
$D (cm)$	$p = 0,000$										
$L (cm)$	$p = 0,000$										
$f_{c,0}(MPa)$	$p = 0,685$										

\* Mesmo que o valor de  $p$  da resistência à compressão tenha sido elevado, esta é a variável que representa a espécie de madeira adotada, sendo importante tê-la na formulação.

Percebeu-se, conforme já apresentado em estudos da revisão bibliográfica, que com o aumento do comprimento de embutimento ocorre um aumento da resistência da ligação, conforme ilustrado nas figuras 4.5 e 4.6. Conforme esses estudos, o aumento do diâmetro acarreta também o aumento da resistência da ligação. Entretanto, essa hipótese não foi avaliada aqui, uma vez que a variação do diâmetro ocasionou, também, uma variação no espaçamento entre eixos das cavilhas.

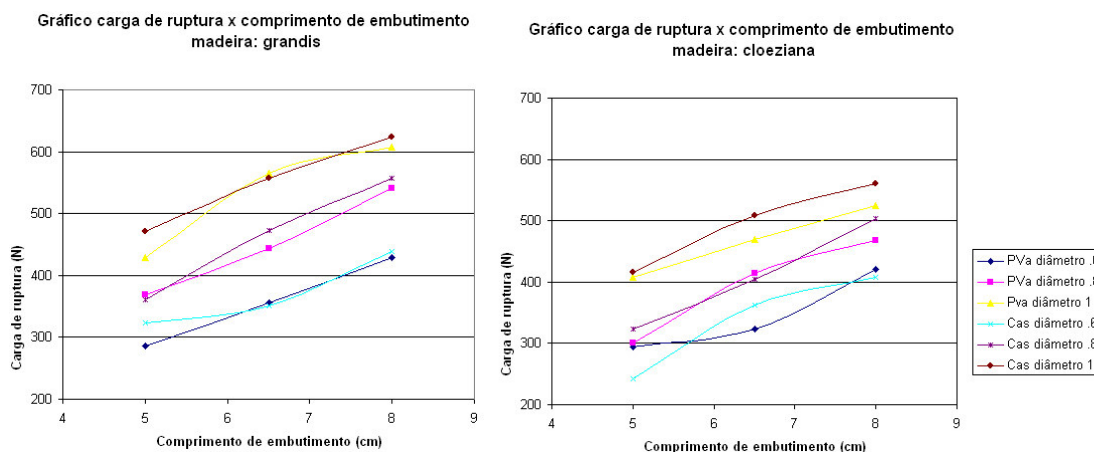


Figura 4.5 Gráfico carga de ruptura versus comprimento de embutimento da cavilha, madeira: *E. Grandis* e *E. cloeziana*

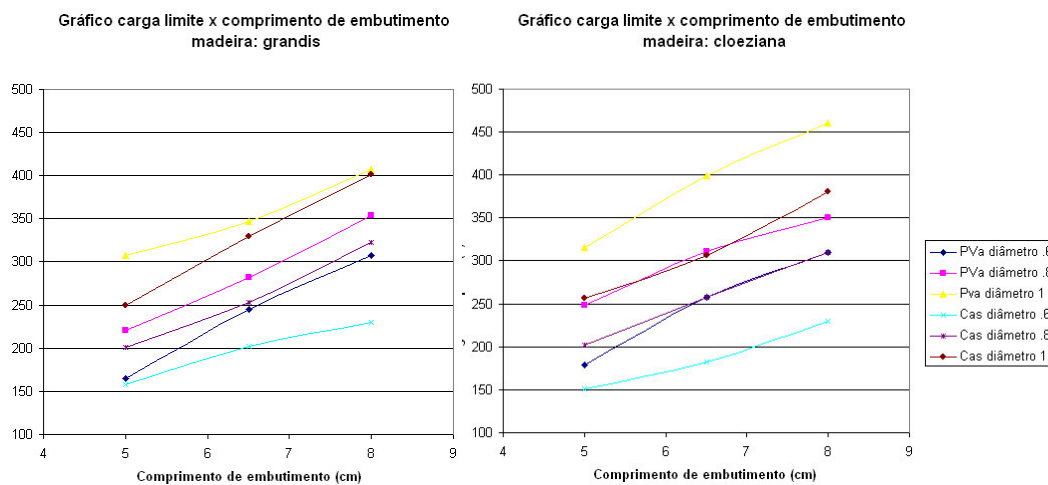


Figura 4.6 Gráfico carga no limite de proporcionalidade versus comprimento de embutimento da cavilha, madeira: *E. grandis* e *E. cloeziana*

A partir de uma regressão linear múltipla considerando como variável dependente a rigidez rotacional das ligações cavilhadas<sup>3</sup>, chegou-se à equação 4.6,

$$RR = J \cdot D^{0.55} \cdot L^{0.5} \cdot f_{c,0}^K, \quad (4.6)$$

sendo  $RR$  a rigidez rotacional da ligação cavilhada,  $D$  o diâmetro da cavilha,  $L$  o comprimento de embutimento,  $f_{c,0}$  a resistência à compressão paralela da madeira da peça, e  $J$  e  $K$  são valores de ajuste em função do adesivo e da madeira empregada, conforme tabela 4.9.

<sup>3</sup> A tabela contendo a diferença entre o valor obtido experimentalmente para o momento de ruptura e o calculado com a formulação obtida pela regressão linear múltipla está apresentada no anexo C.

TABELA 4.9  
Valores de ajuste para cálculo da rigidez rotacional  $RR$  da ligação cavilhada

<b>Adesivo</b>	<b>J</b>
PVA	180000
Cascamite	175000
<b>Madeira</b>	<b>K</b>
<i>Eucalyptus cloeziana</i>	0,020
<i>Eucalyptus grandis</i>	0,005

A significância da regressão das equações que resultaram na equação 4.6 e a análise da tabela ANOVA encontram-se na tabela 4.10.

TABELA 4.10

Equações de regressão obtidos em função de: rigidez rotacional da ligação cavilhada ( $RR$ ) x diâmetro da cavilha ( $D$ ) x comprimento de embutimento da cavilha ( $L$ ) x a resistência à compressão paralela da madeira usada na peça ( $f_{c,0}$ ) para madeira de *E. grandis* e *E. cloeziana* e adeviso PVa e Cascamite

Discriminação		Observações
Modelo matemático	$\log RR = 5,43 + 0,472 \log D + 0,545 \log L - 0,0723 \log f_{c,0}$	para <i>E. grandis</i> e PVA
Coefficiente de determinação múltipla	$R^2 = 93,5\%$	altamente significativa
Teste de F e P	F = 235,10 e P = 0,000	
Variáveis	<i>Constante</i> $p = 0,000$ <i>D (cm)</i> $p = 0,000$ <i>L (cm)</i> $p = 0,000$ <i>f<sub>c,0</sub>(MPa)</i> $p = 0,060$	altamente significativa altamente significativa altamente significativa *
Modelo matemático	$\log RR = 5,07 + 0,644 \log D + 0,562 \log L + 0,155 \log f_{c,0}$	para <i>E. grandis</i> e Cascamite
Coefficiente de determinação múltipla	$R^2 = 91,7\%$	altamente significativa
Teste de F e P	F = 173,60 e P = 0,000	
Variáveis	<i>Constante</i> $p = 0,000$ <i>D (cm)</i> $p = 0,000$ <i>L (cm)</i> $p = 0,000$ <i>f<sub>c,0</sub>(MPa)</i> $p = 0,006$	altamente significativa altamente significativa altamente significativa altamente significativa
Modelo matemático	$\log RR = 5,10 + 0,352 \log D + 0,866 \log L + 0,0218 \log f_{c,0}$	para <i>E. cloeziana</i> e PVA
Coefficiente de determinação múltipla	$R^2 = 95,5\%$	altamente significativa
Teste de F e P	F = 337,36 e P = 0,000	
Variáveis	<i>Constante</i> $p = 0,000$ <i>D (cm)</i> $p = 0,000$ <i>L (cm)</i> $p = 0,000$ <i>f<sub>c,0</sub>(MPa)</i> $p = 0,485$	altamente significativa altamente significativa altamente significativa *
Modelo matemático	$\log RR = 4,88 + 0,862 \log D + 0,801 \log L + 0,178 \log f_{c,0}$	para <i>E. cloeziana</i> e Cascamite
Coefficiente de determinação múltipla	$R^2 = 91,1\%$	altamente significativa
Teste de F e P	F = 170,75 e P = 0,000	
Variáveis	<i>Constante</i> $p = 0,000$ <i>D (cm)</i> $p = 0,000$ <i>L (cm)</i> $p = 0,000$ <i>f<sub>c,0</sub>(MPa)</i> $p = 0,034$	altamente significativa altamente significativa altamente significativa altamente significativa

\* Mesmo que o valor de  $p$  da resistência à compressão tenha sido elevado, essa é a variável que representa a espécie de madeira adotada, sendo importante tê-la na formulação.

O aumento do comprimento de embutimento tem como consequência um aumento na rigidez rotacional da ligação, conforme mostram os gráficos da figura 4.7.

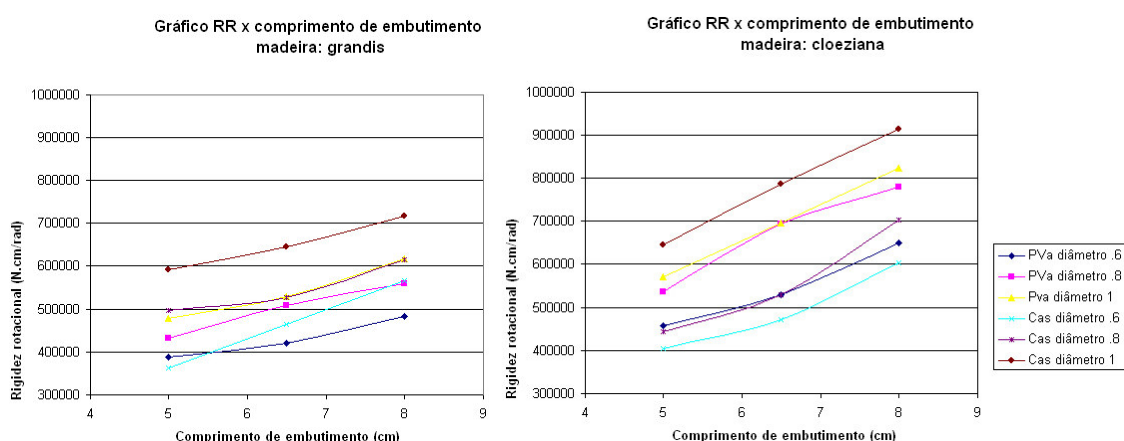


Figura 4.7 Gráfico rigidez rotacional versus comprimento de embutimento da cavilha, madeira: *E. grandis* e *E. cloeziana*

#### 4.2.2. Análise Teórica: Ligações Espigadas

Foi realizada primeiramente a comparação entre o momento de ruptura experimental e calculado com a equação (4.7), proposta por Hill e Eckelman (1973b), sendo a diferença máxima encontrada entre os valores de 10%.<sup>4</sup> Pode-se esclarecer que essa diferença é pequena, uma vez que a diferença máxima encontrada no estudo desse pesquisador foi de 29,45% (Hill e Eckelman, 1973b: p.63). Dessa maneira, optar por utilizar esta equação é válido e coerente.

$$M = 0,7 \cdot S \cdot A \cdot B \cdot C \cdot D, \quad (4.7)$$

<sup>4</sup> Os dados completos dessa análise estão discriminados no anexo C.

$M$  é o momento aplicado;  $S$  a resistência ao cisalhamento da espécie de madeira usada;  $A$  representando a fórmula  $0,24d + 0,57w$  (na qual  $d$  é a altura da peça e  $w$  a altura da espiga);  $B$  o fator de correção do comprimento da ligação;  $C$  o fator de adequação ao tipo de cola utilizado; e  $D$  o fator definido pela diferença entre as dimensões do macho e da fêmea.

Nessa comparação também foi utilizado o valor de 10 MPa para a resistência ao cisalhamento paralela às fibras do *Eucalyptus grandis* e 12,9 MPa para *Eucalyptus cloeziana* e o valor único de 0,20mm para a diferença entre a dimensão do furo e a dimensão da espiga.

Comparou-se também com a equação (4.8) proposta por Erdil, Kasal e Eckelman (2005), sendo maior a diferença máxima encontrada - 19% <sup>-5</sup>, contra 21% encontrada no estudo (Erdil, Kasal e Eckelman, 2005: p.211):

$$M = a \cdot [0,25 \cdot (W - D) + 0,78 \cdot D] \cdot L^{0,8} \cdot S, \quad (4.8)$$

no qual  $M$  é o momento aplicado;  $a$  é o fator de adequação ao tipo de cola utilizado;  $W$  é a altura da travessa;  $D$  é a altura da espiga;  $L$  é o comprimento de embutimento da espiga; e  $S$  a resistência ao cisalhamento da espécie de madeira usada.

Após essa análise, foi realizada também a análise de regressão linear múltipla com os resultados e obteve-se uma equação empírica para o momento de ruptura na flexão e o momento no limite de proporcionalidade, equações 4.9 e 4.10 respectivamente:

$$M_R = a \cdot H^{0,5} \cdot L^{0,75} \cdot f_{c,0}^b \cdot d, \quad (4.9)$$

$$M_{LP} = c \cdot H^{0,55} \cdot L^{0,5} \cdot f_{c,0}^e \cdot d, \quad (4.10)$$

---

<sup>5</sup> Os dados completos dessa análise estão discriminados no anexo C.

sendo  $M_R$  o momento de ruptura nos ensaios de flexão,  $M_{LP}$  o momento no limite de proporcionalidade,  $H$  a altura da espiga,  $L$  o comprimento de embutimento da espiga,  $f_{c,0}$  a resistência à compressão paralela,  $d$  o valor do braço de alavanca utilizado (distância entre a ligação e o local de aplicação da força na travessa, aqui constante e igual a 30cm), e  $a$ ,  $b$ ,  $c$  e  $e$  são valores de ajuste em função do adesivo e da madeira empregado, conforme tabelas 4.11 e 4.12.

TABELA 4.11

Valores de ajuste para cálculo do momento de ruptura  $M_R$  da ligação espigada

<b>Adesivo</b>	<b>a</b>
PVA	160
Cascamite	150
<b>Madeira</b>	<b>b</b>
<i>Eucalyptus cloeziana</i>	+0,030
<i>Eucalyptus grandis</i>	-0,025

TABELA 4.12

Valores de ajuste para cálculo do momento no limite de proporcionalidade  $M_{LP}$  da ligação espigada

<b>Adesivo</b>	<b>c</b>
PVA	65
Cascamite	75
<b>Madeira</b>	<b>e</b>
<i>Eucalyptus cloeziana</i>	+0,18
<i>Eucalyptus grandis</i>	+0,15

Mais uma vez vale explicar que as equações 4.9 e 4.10 são uma compilação dos resultados obtidos nas avaliações estatísticas dos dados de cada espécie de madeira empregada e o adesivo adotado. A significância da regressão e a análise da tabela ANOVA encontram-se nas tabelas 4.13 e 4.14.

TABELA 4.13

Equações de regressão obtidos em função de: carga de ruptura ( $C_R$ ) x altura da espiga ( $H$ ) x comprimento de embutimento da espiga ( $L$ ) x a resistência à compressão paralela da madeira usada na peça ( $f_{c,0}$ ) para madeira de *E. grandis* e *E. cloeziana* e adeviso PVA e Cascamite

Discriminação		Observações								
Modelo matemático	$\log C_r = 2,14 + 0,475 \log H + 0,763 \log L + 0,0140 \log f_{c,0}$	para <i>E. grandis</i> e PVA								
Coefficiente de determinação múltipla	$R^2 = 95,8\%$	altamente significativa								
Teste de F e P	F = 241,69 e P = 0,000									
Variáveis	<table style="border: none;"> <tr> <td style="padding-right: 10px;">Constante</td> <td><math>p = 0,000</math></td> </tr> <tr> <td style="padding-right: 10px;"><math>H (cm)</math></td> <td><math>p = 0,000</math></td> </tr> <tr> <td style="padding-right: 10px;"><math>L (cm)</math></td> <td><math>p = 0,000</math></td> </tr> <tr> <td style="padding-right: 10px;"><math>f_{c,0}(MPa)</math></td> <td><math>p = 0,845</math></td> </tr> </table>	Constante	$p = 0,000$	$H (cm)$	$p = 0,000$	$L (cm)$	$p = 0,000$	$f_{c,0}(MPa)$	$p = 0,845$	altamente significativa altamente significativa altamente significativa *
Constante	$p = 0,000$									
$H (cm)$	$p = 0,000$									
$L (cm)$	$p = 0,000$									
$f_{c,0}(MPa)$	$p = 0,845$									
Modelo matemático	$\log C_r = 2,29 + 0,483 \log H + 0,745 \log L - 0,0841 \log f_{c,0}$	para <i>E. grandis</i> e Cascamite								
Coefficiente de determinação múltipla	$R^2 = 94,6\%$	altamente significativa								
Teste de F e P	F = 186,33 e P = 0,000									
Variáveis	<table style="border: none;"> <tr> <td style="padding-right: 10px;">Constante</td> <td><math>p = 0,000</math></td> </tr> <tr> <td style="padding-right: 10px;"><math>H (cm)</math></td> <td><math>p = 0,000</math></td> </tr> <tr> <td style="padding-right: 10px;"><math>L (cm)</math></td> <td><math>p = 0,000</math></td> </tr> <tr> <td style="padding-right: 10px;"><math>f_{c,0}(MPa)</math></td> <td><math>p = 0,319</math></td> </tr> </table>	Constante	$p = 0,000$	$H (cm)$	$p = 0,000$	$L (cm)$	$p = 0,000$	$f_{c,0}(MPa)$	$p = 0,319$	altamente significativa altamente significativa altamente significativa *
Constante	$p = 0,000$									
$H (cm)$	$p = 0,000$									
$L (cm)$	$p = 0,000$									
$f_{c,0}(MPa)$	$p = 0,319$									
Modelo matemático	$\log C_r = 2,24 + 0,494 \log H + 0,776 \log L + 0,0101 \log f_{c,0}$	para <i>E. cloeziana</i> e PVA								
Coefficiente de determinação múltipla	$R^2 = 94,7\%$	altamente significativa								
Teste de F e P	F = 191,94 e P = 0,000									
Variáveis	<table style="border: none;"> <tr> <td style="padding-right: 10px;">Constante</td> <td><math>p = 0,000</math></td> </tr> <tr> <td style="padding-right: 10px;"><math>H (cm)</math></td> <td><math>p = 0,000</math></td> </tr> <tr> <td style="padding-right: 10px;"><math>L (cm)</math></td> <td><math>p = 0,000</math></td> </tr> <tr> <td style="padding-right: 10px;"><math>f_{c,0}(MPa)</math></td> <td><math>p = 0,851</math></td> </tr> </table>	Constante	$p = 0,000$	$H (cm)$	$p = 0,000$	$L (cm)$	$p = 0,000$	$f_{c,0}(MPa)$	$p = 0,851$	altamente significativa altamente significativa altamente significativa *
Constante	$p = 0,000$									
$H (cm)$	$p = 0,000$									
$L (cm)$	$p = 0,000$									
$f_{c,0}(MPa)$	$p = 0,851$									
Modelo matemático	$\log C_r = 2,34 + 0,420 \log H + 0,691 \log L - 0,0307 \log f_{c,0}$	para <i>E. cloeziana</i> e Cascamite								
Coefficiente de determinação múltipla	$R^2 = 93,8\%$	altamente significativa								
Teste de F e P	F = 161,26 e P = 0,000									
Variáveis	<table style="border: none;"> <tr> <td style="padding-right: 10px;">Constante</td> <td><math>p = 0,000</math></td> </tr> <tr> <td style="padding-right: 10px;"><math>H (cm)</math></td> <td><math>p = 0,000</math></td> </tr> <tr> <td style="padding-right: 10px;"><math>L (cm)</math></td> <td><math>p = 0,000</math></td> </tr> <tr> <td style="padding-right: 10px;"><math>f_{c,0}(MPa)</math></td> <td><math>p = 0,715</math></td> </tr> </table>	Constante	$p = 0,000$	$H (cm)$	$p = 0,000$	$L (cm)$	$p = 0,000$	$f_{c,0}(MPa)$	$p = 0,715$	altamente significativa altamente significativa altamente significativa *
Constante	$p = 0,000$									
$H (cm)$	$p = 0,000$									
$L (cm)$	$p = 0,000$									
$f_{c,0}(MPa)$	$p = 0,715$									

\* Mesmo que o valor de  $p$  da resistência à compressão tenha sido elevado, essa é a variável que representa a espécie de madeira adotada, sendo importante tê-la na formulação.

TABELA 4.14

Equações de regressão obtidos em função de: carga no limite de proporcionalidade ( $C_{LP}$ ) x altura da espiga ( $H$ ) x comprimento de embutimento da espiga ( $L$ ) x a resistência à compressão paralela da madeira usada na peça ( $f_{c,0}$ ) para madeira de *E. grandis* e *E. cloeziana* e adeviso PVA e Cascamite

Discriminação		Observações								
Modelo matemático	$\log C_{lp} = 1,61 + 0,681 \log H + 0,509 \log L + 0,100 \log f_{c,0}$	para <i>E. grandis</i> e PVA								
Coefficiente de determinação múltipla	$R^2 = 85,4\%$	altamente significativa								
Teste de F e P	F = 62,40 e P = 0,000									
Variáveis	<table style="border: none;"> <tr> <td style="padding-right: 10px;">Constante</td> <td><math>p = 0,000</math></td> </tr> <tr> <td style="padding-right: 10px;"><math>H (cm)</math></td> <td><math>p = 0,000</math></td> </tr> <tr> <td style="padding-right: 10px;"><math>L (cm)</math></td> <td><math>p = 0,000</math></td> </tr> <tr> <td style="padding-right: 10px;"><math>f_{c,0}(MPa)</math></td> <td><math>p = 0,430</math></td> </tr> </table>	Constante	$p = 0,000$	$H (cm)$	$p = 0,000$	$L (cm)$	$p = 0,000$	$f_{c,0}(MPa)$	$p = 0,430$	altamente significativa altamente significativa altamente significativa *
Constante	$p = 0,000$									
$H (cm)$	$p = 0,000$									
$L (cm)$	$p = 0,000$									
$f_{c,0}(MPa)$	$p = 0,430$									
Modelo matemático	$\log C_{lp} = 1,66 + 0,571 \log H + 0,665 \log L + 0,130 \log f_{c,0}$	para <i>E. grandis</i> e Cascamite								
Coefficiente de determinação múltipla	$R^2 = 92,4\%$	altamente significativa								
Teste de F e P	F = 129,39 e P = 0,000									
Variáveis	<table style="border: none;"> <tr> <td style="padding-right: 10px;">Constante</td> <td><math>p = 0,000</math></td> </tr> <tr> <td style="padding-right: 10px;"><math>H (cm)</math></td> <td><math>p = 0,000</math></td> </tr> <tr> <td style="padding-right: 10px;"><math>L (cm)</math></td> <td><math>p = 0,000</math></td> </tr> <tr> <td style="padding-right: 10px;"><math>f_{c,0}(MPa)</math></td> <td><math>p = 0,186</math></td> </tr> </table>	Constante	$p = 0,000$	$H (cm)$	$p = 0,000$	$L (cm)$	$p = 0,000$	$f_{c,0}(MPa)$	$p = 0,186$	altamente significativa altamente significativa altamente significativa *
Constante	$p = 0,000$									
$H (cm)$	$p = 0,000$									
$L (cm)$	$p = 0,000$									
$f_{c,0}(MPa)$	$p = 0,186$									
Modelo matemático	$\log C_{lp} = 1,54 + 0,637 \log H + 0,749 \log L + 0,138 \log f_{c,0}$	para <i>E. cloeziana</i> e PVA								
Coefficiente de determinação múltipla	$R^2 = 89,8\%$	altamente significativa								
Teste de F e P	F = 93,41 e P = 0,000									
Variáveis	<table style="border: none;"> <tr> <td style="padding-right: 10px;">Constante</td> <td><math>p = 0,000</math></td> </tr> <tr> <td style="padding-right: 10px;"><math>H (cm)</math></td> <td><math>p = 0,000</math></td> </tr> <tr> <td style="padding-right: 10px;"><math>L (cm)</math></td> <td><math>p = 0,000</math></td> </tr> <tr> <td style="padding-right: 10px;"><math>f_{c,0}(MPa)</math></td> <td><math>p = 0,102</math></td> </tr> </table>	Constante	$p = 0,000$	$H (cm)$	$p = 0,000$	$L (cm)$	$p = 0,000$	$f_{c,0}(MPa)$	$p = 0,102$	altamente significativa altamente significativa altamente significativa *
Constante	$p = 0,000$									
$H (cm)$	$p = 0,000$									
$L (cm)$	$p = 0,000$									
$f_{c,0}(MPa)$	$p = 0,102$									
Modelo matemático	$\log C_{lp} = 1,45 + 0,580 \log H + 0,393 \log L + 0,304 \log f_{c,0}$	para <i>E. cloeziana</i> e Cascamite								
Coefficiente de determinação múltipla	$R^2 = 84,5\%$	altamente significativa								
Teste de F e P	F = 58,36 e P = 0,000									
Variáveis	<table style="border: none;"> <tr> <td style="padding-right: 10px;">Constante</td> <td><math>p = 0,000</math></td> </tr> <tr> <td style="padding-right: 10px;"><math>H (cm)</math></td> <td><math>p = 0,000</math></td> </tr> <tr> <td style="padding-right: 10px;"><math>L (cm)</math></td> <td><math>p = 0,000</math></td> </tr> <tr> <td style="padding-right: 10px;"><math>f_{c,0}(MPa)</math></td> <td><math>p = 0,023</math></td> </tr> </table>	Constante	$p = 0,000$	$H (cm)$	$p = 0,000$	$L (cm)$	$p = 0,000$	$f_{c,0}(MPa)$	$p = 0,023$	altamente significativa altamente significativa altamente significativa altamente significativa
Constante	$p = 0,000$									
$H (cm)$	$p = 0,000$									
$L (cm)$	$p = 0,000$									
$f_{c,0}(MPa)$	$p = 0,023$									

\* Mesmo que o valor de  $p$  da resistência à compressão tenha sido elevado, essa é a variável que representa a espécie de madeira adotada, sendo, então, importante tê-la na formulação.

A tabela contendo as diferenças entre os valores obtidos experimentalmente para o momento de ruptura e o momento no limite de proporcionalidade e os calculados com as equações 4.12 e 4.13 está apresentada no anexo C.

Conforme já apresentado na revisão bibliográfica, o aumento do comprimento de embutimento e da altura da espiga acarreta um aumento da resistência da ligação, conforme ilustrado nas figuras 4.8 a 4.11.

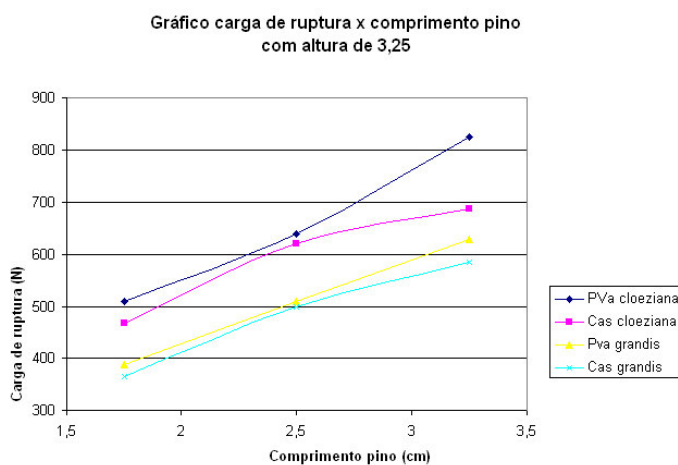


Figura 4.8 Gráfico carga de ruptura versus comprimento de embutimento da espiga, altura: 3,25 cm

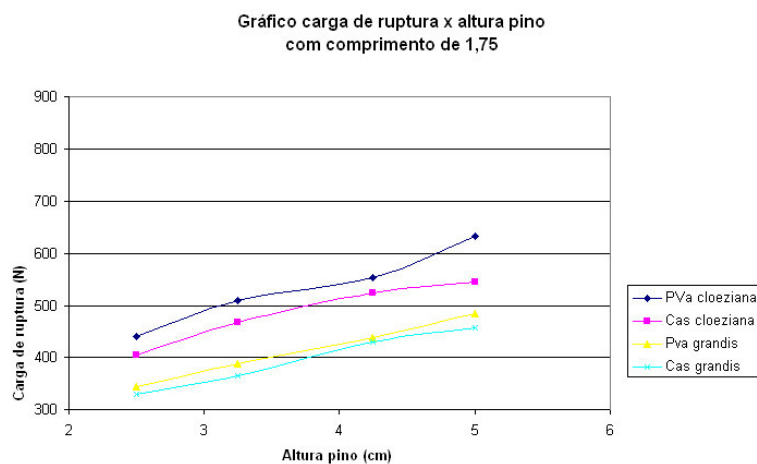


Figura 4.9 Gráfico carga de ruptura versus altura da espiga, comprimento: 1,75cm

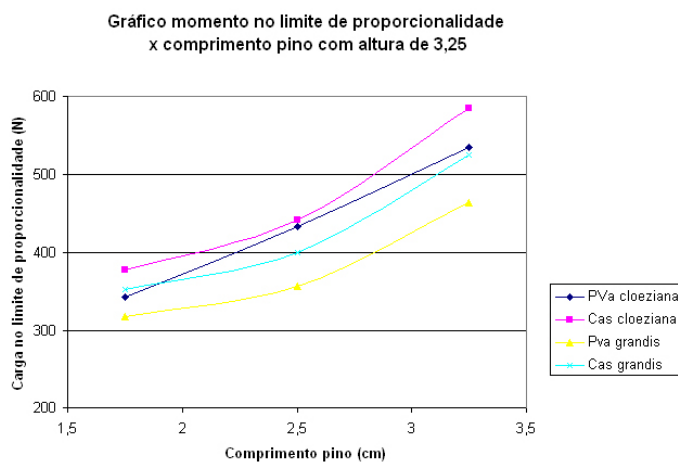


Figura 4.10 Gráfico carga no limite de proporcionalidade versus comprimento de embutimento da espiga, altura: 3,25cm

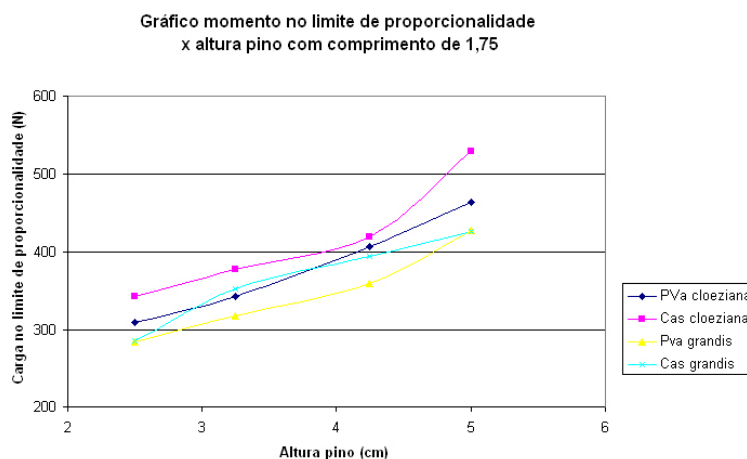


Figura 4.11 Gráfico carga no limite de proporcionalidade versus altura da espiga, comprimento: 1,75 cm

Foi realizada também uma regressão linear múltipla, considerando a rigidez rotacional das ligações espigadas como variável dependente e chegou-se à seguinte equação 4.14:

$$RR = f \cdot H^{0.55} \cdot L^{0.5} \cdot f_{c,0}^g, \quad (4.14)$$

sendo  $RR$  a rigidez rotacional da ligação espigada,  $H$  a altura da espiga,  $L$  o comprimento de embutimento da espiga,  $f_{c,0}$  a resistência à compressão paralela, e  $f$  e  $g$  são valores de ajuste em função do adesivo e da madeira empregado, tabela 4.15.

TABELA 4.15

Valores de ajuste para cálculo do momento de ruptura  $M_R$  da ligação espigada

<b>Adesivo</b>	<b>f</b>
PVA	122500
Cascamite	130000
<b>Madeira</b>	<b>g</b>
<i>Eucalyptus cloeziana</i>	0,15
<i>Eucalyptus grandis</i>	0,11

A significância da regressão para cada uma das quatro equações usadas na definição da equação 4.14 e a análise da tabela ANOVA encontram-se na tabela 4.16.

TABELA 4.16

Equações de regressão obtidos em função de: rigidez rotacional da ligação espigada ( $RR$ ) x altura da espiga ( $H$ ) x comprimento de embutimento da espiga ( $L$ ) x a resistência à compressão paralela da madeira usada na peça ( $f_{c,0}$ ) para madeira de *E. grandis* e *E. cloeziana* e adeviso PVA e Cascamite

Discriminação		Observações
Modelo matemático	$\log RR = 5,06 + 0,830 \log H + 0,131 \log L + 0,123 \log f_{c,0}$	para <i>E. grandis</i> e PVA
Coeficiente de determinação múltipla	$R^2 = 90,4\%$	altamente significativa
Teste de F e P	F = 100,46 e P = 0,000	
Variáveis	<i>Constante</i> $p = 0,000$ <i>H (cm)</i> $p = 0,000$ <i>L (cm)</i> $p = 0,005$ <i>f<sub>c,0</sub>(MPa)</i> $p = 0,237$	altamente significativa altamente significativa altamente significativa *
Modelo matemático	$\log RR = 5,01 + 0,836 \log H + 0,233 \log L + 0,165 \log f_{c,0}$	para <i>E. grandis</i> e Cascamite
Coeficiente de determinação múltipla	$R^2 = 97,9\%$	altamente significativa
Teste de F e P	F = 495,38 e P = 0,000	
Variáveis	<i>Constante</i> $p = 0,000$ <i>H (cm)</i> $p = 0,000$ <i>L (cm)</i> $p = 0,000$ <i>f<sub>c,0</sub>(MPa)</i> $p = 0,002$	altamente significativa altamente significativa altamente significativa altamente significativa
Modelo matemático	$\log RR = 5,07 + 0,763 \log H + 0,154 \log L + 0,175 \log f_{c,0}$	para <i>E. cloeziana</i> e PVA
Coeficiente de determinação múltipla	$R^2 = 94,4\%$	altamente significativa
Teste de F e P	F = 179,35 e P = 0,000	
Variáveis	<i>Constante</i> $p = 0,000$ <i>H (cm)</i> $p = 0,000$ <i>L (cm)</i> $p = 0,000$ <i>f<sub>c,0</sub>(MPa)</i> $p = 0,001$	altamente significativa altamente significativa altamente significativa altamente significativa
Modelo matemático	$\log RR = 5,25 + 0,863 \log H + 0,243 \log L + 0,0535 \log f_{c,0}$	para <i>E. cloeziana</i> e Cascamite
Coeficiente de determinação múltipla	$R^2 = 93,6\%$	altamente significativa
Teste de F e P	F = 145,85 e P = 0,000	
Variáveis	<i>Constante</i> $p = 0,000$ <i>H (cm)</i> $p = 0,000$ <i>L (cm)</i> $p = 0,005$ <i>f<sub>c,0</sub>(MPa)</i> $p = 0,585$	altamente significativa altamente significativa altamente significativa *

\* Mesmo que o valor de  $p$  da resistência à compressão tenha sido elevado, essa é a variável que representa a espécie de madeira adotada, sendo importante tê-la na formulação.

Como já esperado, o aumento do comprimento de embutimento da espiga e de sua altura acarreta o aumento da rigidez da ligação, conforme ilustrado nas figuras 4.12 e 4.13.

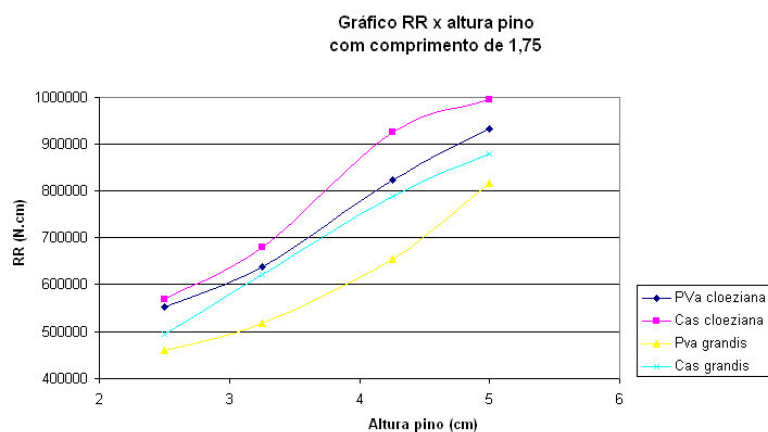


Figura 4.12 Gráfico rigidez rotacional versus altura da espiga, comprimento: 1,75 cm

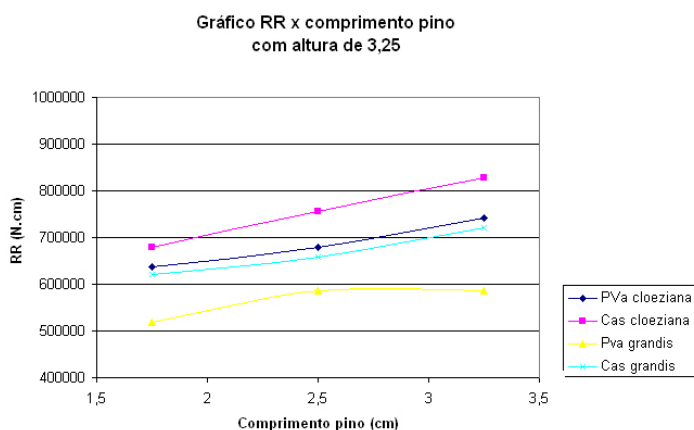


Figura 4.13 Gráfico rigidez rotacional versus comprimento de embutimento da espiga, altura: 3,25 cm

A tabela contendo a diferença entre o valor obtido experimentalmente para o momento de ruptura e o calculado com a formulação obtida pela regressão linear múltipla está apresentada no anexo C.

### 4.2.3. Colapso

Conforme já apresentado, o desempenho estrutural adequado de um móvel de madeira depende de um sistema de ligação que proporcione uma satisfatória união entre duas peças (Soriano, Nicolas e Mascia, 2000). Este sistema entrará em ruína quando for atingida a ruptura (a tensão atuante maior que a resistência) ou ocorrer uma deformação excessiva.

Percebeu-se que a ruptura da ligação cavilhada ocorreu, principalmente, por colapso da cavilha com rompimento no lado superior do montante e rachaduras paralelas às fibras da travessa, conforme ilustrado nas figuras 4.14 e 4.15. Enquanto que as rupturas da ligação espigada ocorreram em uma combinação de dois tipos de comportamento: ruptura da travessa, em uma região bem próxima à ligação e ruptura no lado superior do montante, como mostra a figura 4.16.



Figura 4.14 Ruptura da cavilha



Figura 4.15 Ruptura no lado superior do montante e rachadura paralela às fibras da travessa



Figura 4.16 Ruptura da travessa e ruptura no lado superior do montante em ligações espigadas

Entretanto, em amostras das duas ligações ocorreram rachaduras paralelas às fibras do montante e esmagamento no lado inferior da travessa, conforme ilustrado nas figuras 4.17 e 4.18.

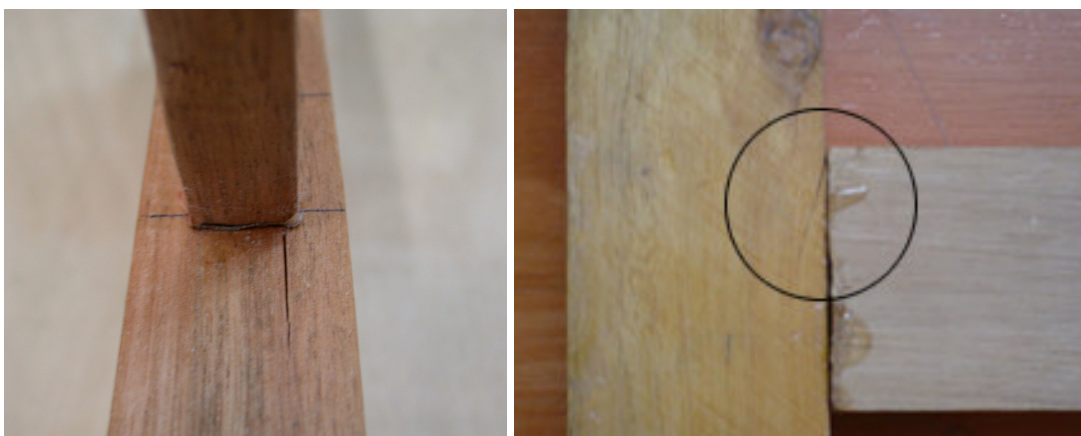


Figura 4.17 Rachaduras paralelas às fibras do montante na parte inferior e superior



Figura 4.18 Esmagamento no lado inferior da travessa (ocorrido em vários CPs)

### **4.3 Apresentação e Discussão dos Dados Resultantes da Avaliação Numérica**

Conforme explicado no capítulo anterior, o ajuste do modelo numérico com os resultados obtidos experimentalmente foi realizado por meio do ajuste no módulo de elasticidade do elemento de interface madeira - adesivo.

O ajuste foi feito até que o deslocamento na extremidade livre da travessa no modelo de elementos finitos fosse próximo do valor correspondente obtido nos ensaios, ou seja, até que a diferença dos resultados fosse a menor possível, considerando todos os grupos de geometria das ligações.

O melhor valor conseguido para o módulo de elasticidade do material de interface para as ligações cavilhadas e espigadas está apresentado na tabela 4.17, bem como a comparação dos resultados do modelo ajustado com a média dos resultados dos ensaios (tabelas 4.18 a 4.21).

TABELA 4.17

Valores de ajuste para o módulo de elasticidade  $E$  do material de interface

<b>Adesivo e Madeira</b>	<b><math>E</math> (<math>N/m^2</math>)</b>
PVA e <i>Eucalyptus grandis</i>	$8,25 \times 10^6$
Cascamite e <i>Eucalyptus grandis</i>	$9,50 \times 10^6$
PVA e <i>Eucalyptus cloeziana</i>	$2,15 \times 10^7$
Cascamite e <i>Eucalyptus cloeziana</i>	$2,50 \times 10^7$

TABELA 4.18

Comparação dos resultados experimentais e numéricos da ligação cavilhada, madeira *E. grandis*, adesivo PVA e Cascamite

Resultados para o adesivo PVA				Resultados para o adesivo Cascamite			
Amostra	Uy exp	Uy Ansys	Diferença	Amostra	Uy exp	Uy Ansys	Diferença
G	6,67	6,55	2%	G	5,50	5,41	2%
H	5,11	5,26	3%	H	4,94	4,73	4%
M	4,07	4,37	7%	M	4,05	3,96	2%
I	4,89	4,72	4%	I	5,02	4,75	5%
J	4,17	4,27	2%	J	3,67	3,79	3%
N	3,41	3,63	6%	N	3,06	3,37	9%
K	4,65	4,73	2%	K	4,20	4,53	7%
L	3,84	4,07	6%	L	3,46	3,81	9%
O	3,33	3,78	12%	O	2,82	3,14	10%

TABELA 4.19

Comparação dos resultados experimentais e numéricos da ligação cavilhada, madeira *E. cloeziana*, adesivo PVA e Cascamite

Resultados para o adesivo PVA				Resultados para o adesivo Cascamite			
Amostra	Uy exp	Uy Ansys	Diferença	Amostra	Uy exp	Uy Ansys	Diferença
G	5,35	5,68	6%	G	5,09	5,05	1%
H	3,63	3,63	0%	H	3,89	4,02	3%
M	3,04	3,21	5%	M	2,66	2,67	0%
I	4,37	4,50	3%	I	5,68	5,46	4%
J	4,30	4,40	2%	J	4,27	4,24	1%
N	4,02	3,91	3%	N	3,95	3,98	1%
K	7,50	7,45	1%	K	4,29	4,38	2%
L	4,74	4,80	1%	L	3,20	3,28	2%
O	3,80	3,86	1%	O	2,67	2,74	3%

TABELA 4.20

Comparação dos resultados experimentais e numéricos da ligação espigada, madeira *E. grandis*, adesivo PVA e Cascamite

Resultados para o adesivo PVA				Resultados para o adesivo Cascamite			
Amostra	Uy exp	Uy Ansys	Diferença	Amostra	Uy exp	Uy Ansys	Diferença
A	7,39	7,53	2%	A	6,13	6,46	5%
B	6,35	6,33	0%	B	4,81	5,05	5%
C	5,58	5,49	2%	C	4,35	4,57	5%
D	4,51	4,50	0%	D	3,87	4,00	3%
E	5,52	5,30	4%	E	4,17	4,24	2%

TABELA 4.21

Comparação dos resultados experimentais e numéricos da ligação espigada, madeira *E. cloeziana*, adesivo PVA e Cascamite

Resultados para o adesivo PVA				Resultados para o adesivo Cascamite			
Amostra	Uy exp	Uy Ansys	Diferença	Amostra	Uy exp	Uy Ansys	Diferença
A	9,84	9,62	2%	A	7,31	7,50	2%
B	8,29	8,12	2%	B	6,40	6,51	2%
C	7,54	7,79	3%	C	5,04	5,28	4%
D	6,17	6,33	2%	D	4,46	4,78	7%
E	5,56	5,74	3%	E	5,81	5,67	3%

Percebe-se que os valores obtidos numericamente ficaram bem próximos aos obtidos experimentalmente, o que valida o modelo adotado e os módulos de elasticidade  $E$  dos materiais de interface encontrados.

#### 4.3.1 Apresentação dos Resultados da Otimização das Ligações

Dos resultados obtidos no modelamento numérico da cadeira, escolheu-se, para otimização, a ligação do tipo 1, indicada na figura 4.19, por ser a mais solicitada em termos de momento fletor.

		Comprimento	Seção transversal	
			b	h
Lig1	Montante	0,150	0,025	0,042
	Travessa	0,300	0,022	0,050
Lig2	Montante	0,150	0,025	0,033
	Travessa	0,300	0,028	0,050
Lig3	Montante	0,150	0,025	0,035
	Travessa	0,300	0,022	0,042
Lig4	Montante	0,150	0,025	0,033
	Travessa	0,300	0,022	0,042

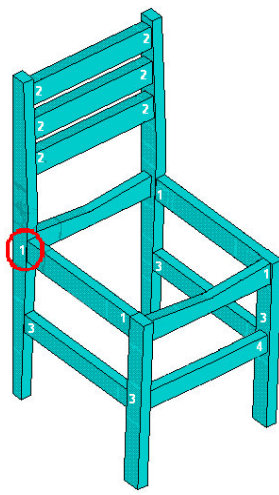


Figura 4.19 Dimensões das ligações da cadeira

A determinação das dimensões mínimas da ligação 1 da cadeira foi obtida depois de três iterações para a ligação cavilhada e quatro iterações para a ligação espigada. O tempo médio de processamento gasto em cada iteração foi de 35 minutos, utilizando-se um computador Pentium 4 com processador de 3.20 GHz e com 1 GB de memória RAM e o programa Ansys 11. Os resultados da otimização até a convergência são apresentados na tabela 4.22.

TABELA 4.22

Valores das variáveis de projeto, de estado e da função objetivo ao longo das iterações

Ligação	Variáveis	1a Iteração (feasible)	2a Iteração (infeasible)	3a Iteração (feasible)	4a Iteração
Cavilhada	Comprimento de embutimento da cavilha (mm)	50,19	45,06	46,05	-
	Diâmetro da cavilha (mm)	6,00	6,00	6,00	-
	Espaçamento entre eixos das cavilhas (mm)	29,59	31,94	31,95	-
	Tensão de Von Mises na cola (Pa)	$9,14 \times 10^6$	$7,29 \times 10^6$	$7,16 \times 10^6$	-
	Deslocamento relativo (mm)	0,49	0,72	0,71	-
	Volume ligação (m <sup>3</sup> )	$1,07 \times 10^{-5}$	$1,03 \times 10^{-5}$	$1,03 \times 10^{-5}$	-
Ligação	Variáveis	1a Iteração (infeasible)	2a Iteração (infeasible)	3a Iteração (feasible)	4a Iteração (feasible)
Espigada	Comprimento de embutimento da espiga (mm)	17,53	17,53	17,53	17,53
	Altura da espiga (mm)	39,97	39,97	25,43	25,45
	Tensão de Von Mises na cola (Pa)	$3,76 \times 10^6$	$5,16 \times 10^7$	$4,01 \times 10^6$	$4,00 \times 10^6$
	Volume ligação (m <sup>3</sup> )	$6,65 \times 10^{-6}$	$6,65 \times 10^{-6}$	$4,23 \times 10^{-6}$	$4,23 \times 10^{-6}$

Observa-se que, das variáveis otimizadas, o comprimento de embutimento da cavilha convergiu para um valor próximo ao limite inferior (45,0 mm) e o valor do diâmetro da cavilha convergiu para esse limite (6,0 mm). O valor do espaçamento entre eixos das cavilhas não modifica o consumo de material, contudo tem grande influência no resultado da otimização, uma vez que a tensão equivalente de Von Mises é muito sensível às alterações dessa variável.

Já na ligação espigada, o comprimento de embutimento convergiu para um valor bem próximo ao limite inferior (17,5 mm) ao passo que a altura da espiga convergiu para um

valor bem próximo ao limite superior (40,0 mm) inicialmente, mas depois da alteração do valor limite mínimo da tensão de Von Mises, seu valor ficou próximo ao valor inferior (25,0 mm).

A metodologia adotada prescreve deslocamentos obtidos do modelo de pórtico espacial como condição de contorno do modelo tridimensional da ligação. Dessa maneira é possível que a tensão equivalente de Von Mises limite obtida no limite do comportamento elástico da ligação possa ser alcançada, no processo de otimização, por meio da aproximação relativa das cavilhas, o que caracterizaria uma significativa redução da rigidez da ligação. Para evitar esse fenômeno, adotou-se o deslocamento relativo entre a travessa e o montante como segunda variável de estado.

Resumindo, esta etapa apresenta uma metodologia de otimização de ligações cavilhadas e espigadas de móveis de madeira envolvendo: (1) resultados experimentais para validação de um modelo numérico do Método dos Elementos Finitos, de modo a estimar as rigidezes das ligações; (2) modelo de pórtico espacial do móvel, considerando as rigidezes previamente estimadas, para obtenção de deslocamentos da ligação mais solicitada; (3) processo de otimização matemática dessa ligação, tomando os referidos deslocamentos como condições de contorno em um modelo tridimensional de elementos finitos.

Não é objetivo deste trabalho o estudo de uma metodologia adequada para a otimização de móveis de madeira, mas sim a busca por dimensões mínimas de suas ligações, tendo em vista considerações práticas relativas ao projeto e fabricação. Conforme explicado anteriormente, a metodologia utilizada foi baseada nos estudos de De Paula et al (2005), Carrasco et al (2006a e 2006b) e Ribeiro (2006).

Como se pode perceber, o algoritmo de programação matemática utilizado é apenas parte de um processo que envolve resultados experimentais da ligação, análise global da estrutura do móvel e a otimização propriamente dita da ligação. A complexidade do problema estudado, existência das diversas variáveis, aliada ao elevado custo

computacional da otimização, utilizando o Método dos Elementos Finitos, impuseram aproximações para viabilizar o processo apresentado.

Vale destacar que a convergência dos resultados com base na metodologia apresentada foi obtida com três iterações para a ligação cavilhada e quatro para a ligação espigada. O tempo total de processamento pode ser reduzido com o ajuste nos critérios de convergência.

Estudos mais minuciosos ainda são necessários para se entender melhor o comportamento da interface madeira-adesivo, possibilitando construir um modelo mais realista da ligação. Contudo a modelagem aqui apresentada mostrou-se eficiente como uma solução de engenharia.

#### **4.4 Apresentação e Análise dos Resultados dos Ensaios da NBR 14006/2003**

##### **4.4.1 Resultados dos Ensaios da NBR 14006/2003**

Nesta etapa, é apresentado o resultado de cada ensaio proposto na NBR 14006/2003. Mais uma vez, vale a pena lembrar que esses ensaios são somente os aplicados na avaliação estrutural de cadeiras e mesas escolares.

Foram realizados inicialmente todos os ensaios com a cadeira 1 (feita de ligações espigadas), depois foram executados todos os ensaios com a cadeira 2 (de ligações cavilhadas). Como houve o afrouxamento de uma ligação durante o ensaio de impacto no encosto da cadeira 2, optou-se por realizar os ensaios com uma terceira cadeira (contraprova), também feita de ligações cavilhadas. Esta última também apresentou o afrouxamento de uma ligação.

No início de cada ensaio, percebe-se um pequeno valor de carga que era aplicado para o correto posicionamento do cilindro pneumático, equipamento este responsável pela aplicação de carga no móvel. Esse valor não interfere no resultado apresentado.

#### **4.4.1.1 Ensaio de carga estática no assento da cadeira (6.4.1)**

No ensaio de cargas verticais no assento de cadeiras escolares (6.4.1 da NBR 14006/2003), uma carga no valor de 1800N é aplicada por 10 vezes na superfície do assento, por pelo menos 10 segundos em cada aplicação. Esse valor foi alterado na NBR 14006/2008 para 1500N, mas preferiu-se adotar o maior valor nos ensaios.

Para a cadeira 1, o ensaio durou 2 minutos e 27 segundos. Foi aplicada uma carga 2,45% maior que a prevista (somatório das cargas das células de carga igual a 1844,35N e não 1800N, conforme previsto) e não houve dano aparente.

Para a cadeira 2, o ensaio durou 2 minutos e 14 segundos. Foi aplicada uma carga 2% maior que a prevista no valor de 1835N. Ocorreu um erro de leitura no DT2, o que acarretou que este não conseguisse capturar os dados. Não houve dano aparente.

Já para a cadeira 3, o ensaio durou 2 minutos e 15 segundos. Foi aplicada uma carga 8% menor que a prevista (somatório das cargas das células de carga igual a 1656,5N). Nesse ensaio, foi o DT3 que não conseguiu capturar os dados e o DT2 girou sobre o próprio eixo, o que acarretou o aumento gradativo dos valores lidos. Também não houve dano aparente.

O comportamento de cada equipamento de leitura durante todo o ensaio é melhor percebido nas figuras 4.20 a 4.28.

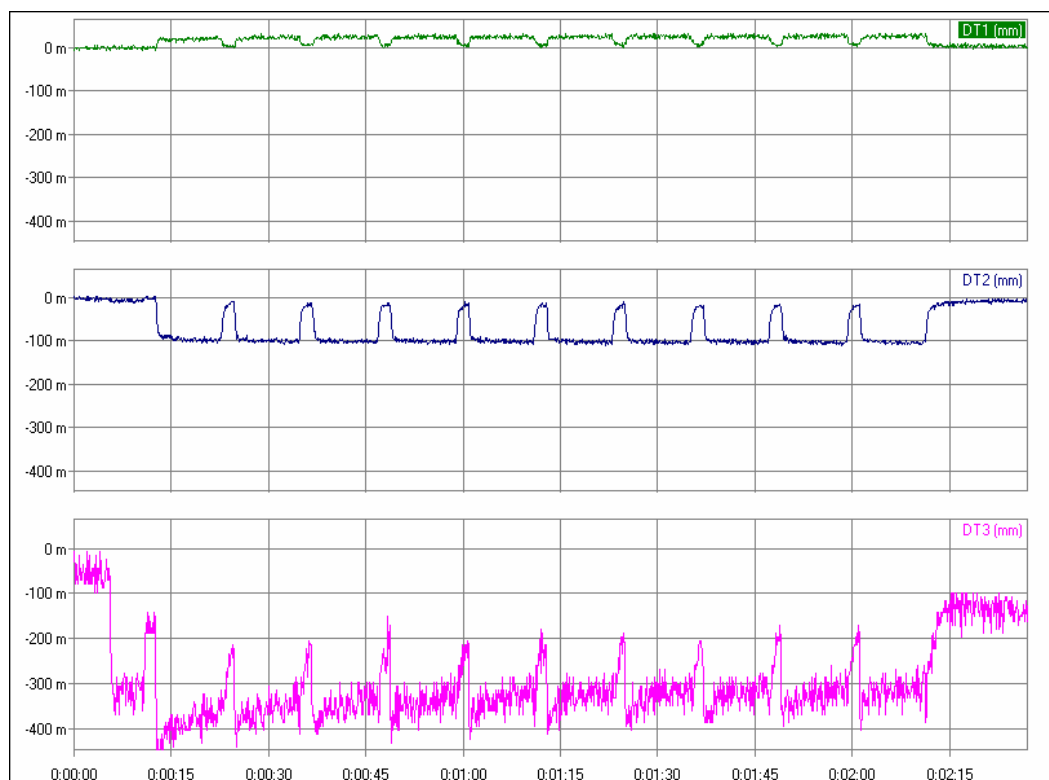


Figura 4.20 Gráfico deslocamento x tempo. DTs – cadeira 1 – ensaio 6.4.1 ( $m=10^{-3}$ )

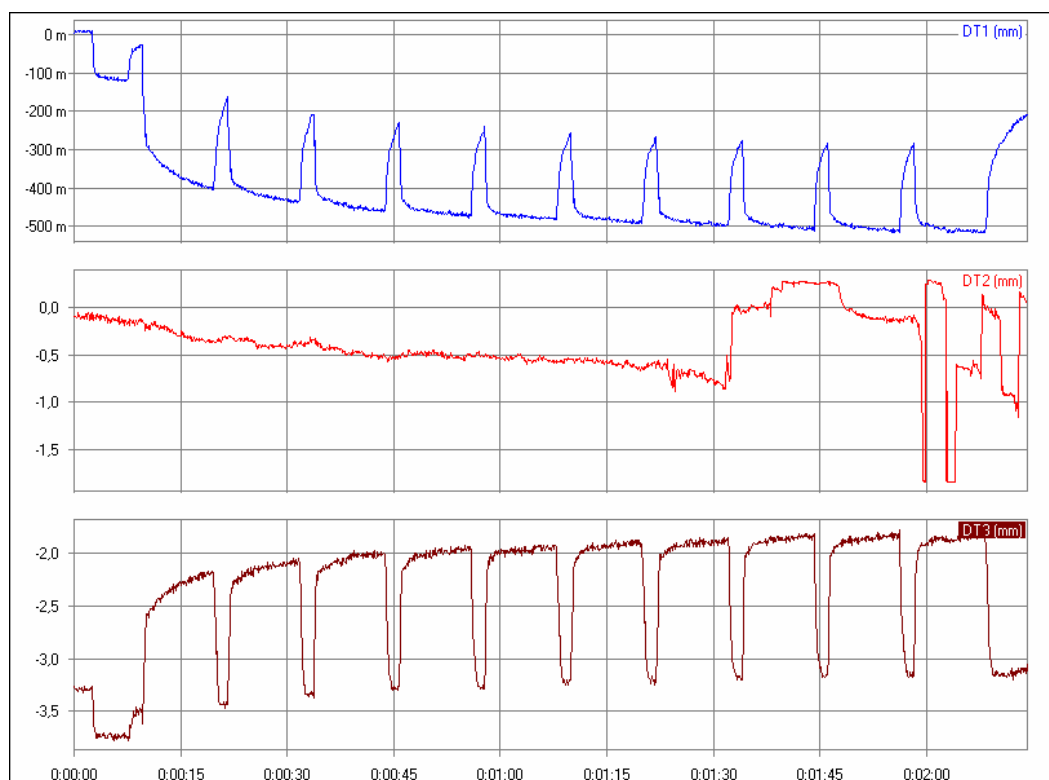


Figura 4.21 Gráfico deslocamento x tempo. DTs – cadeira 2 – ensaio 6.4.1 ( $m=10^{-3}$ )

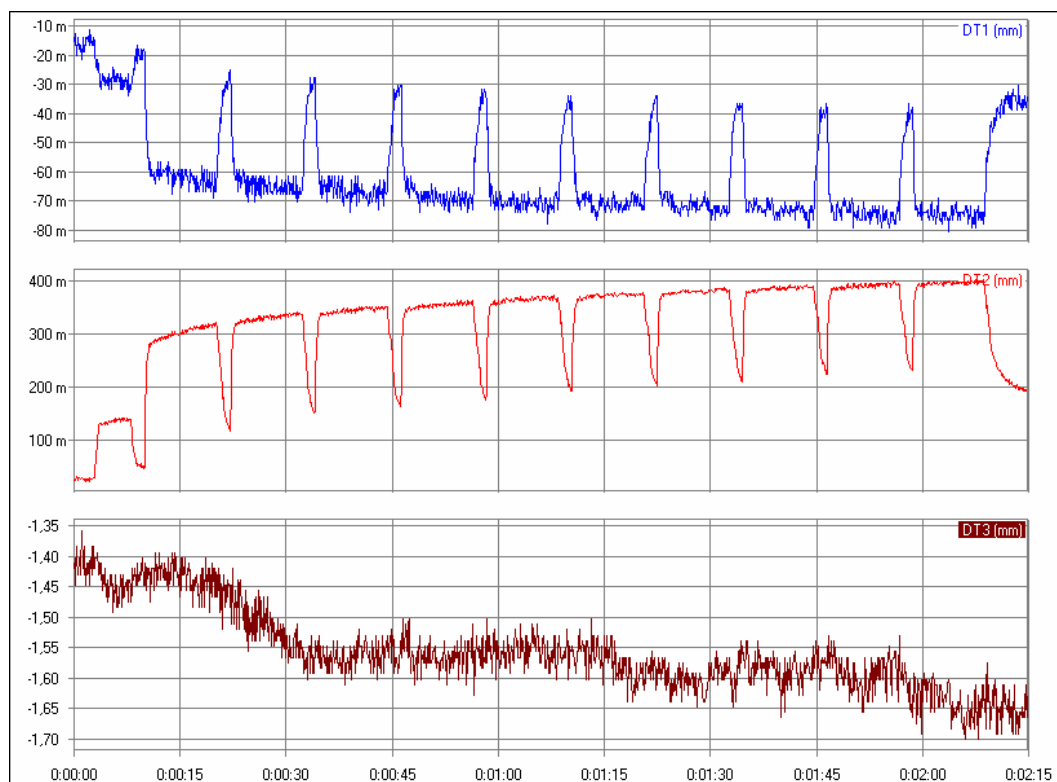


Figura 4.22 Gráfico deslocamento x tempo. DTs – cadeira 3 – ensaio 6.4.1 ( $m=10^{-3}$ )

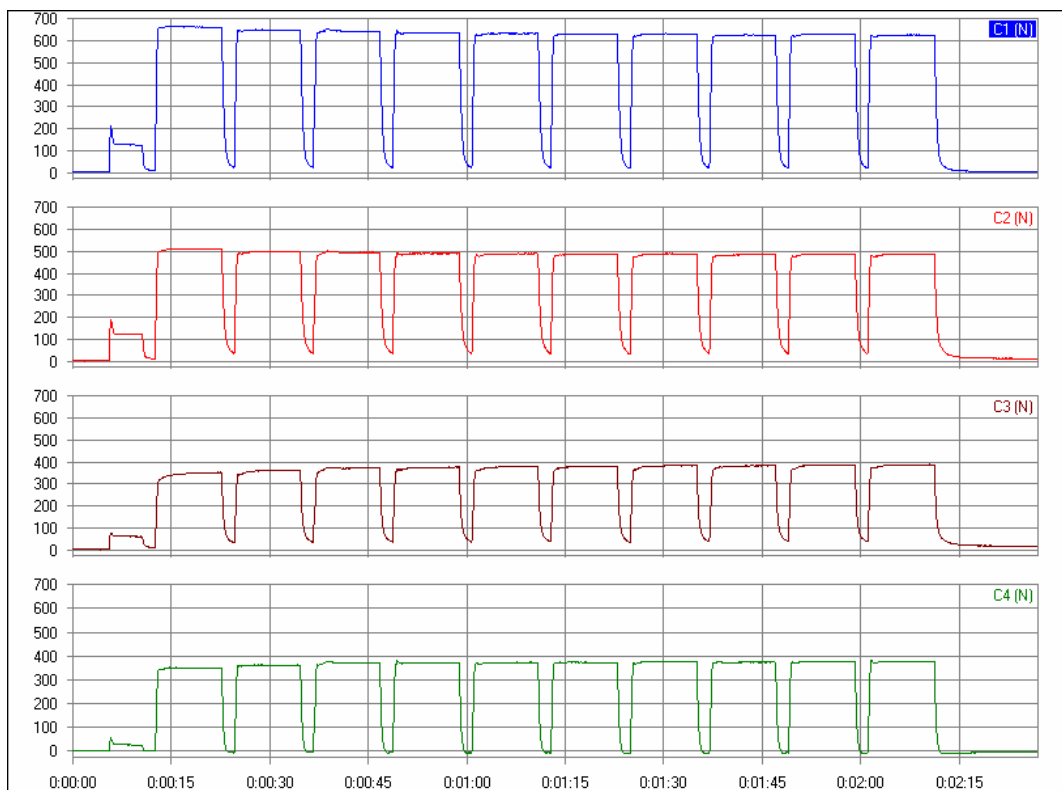


Figura 4.23 Gráfico carga x tempo. Células de carga – cadeira 1 – ensaio 6.4.1

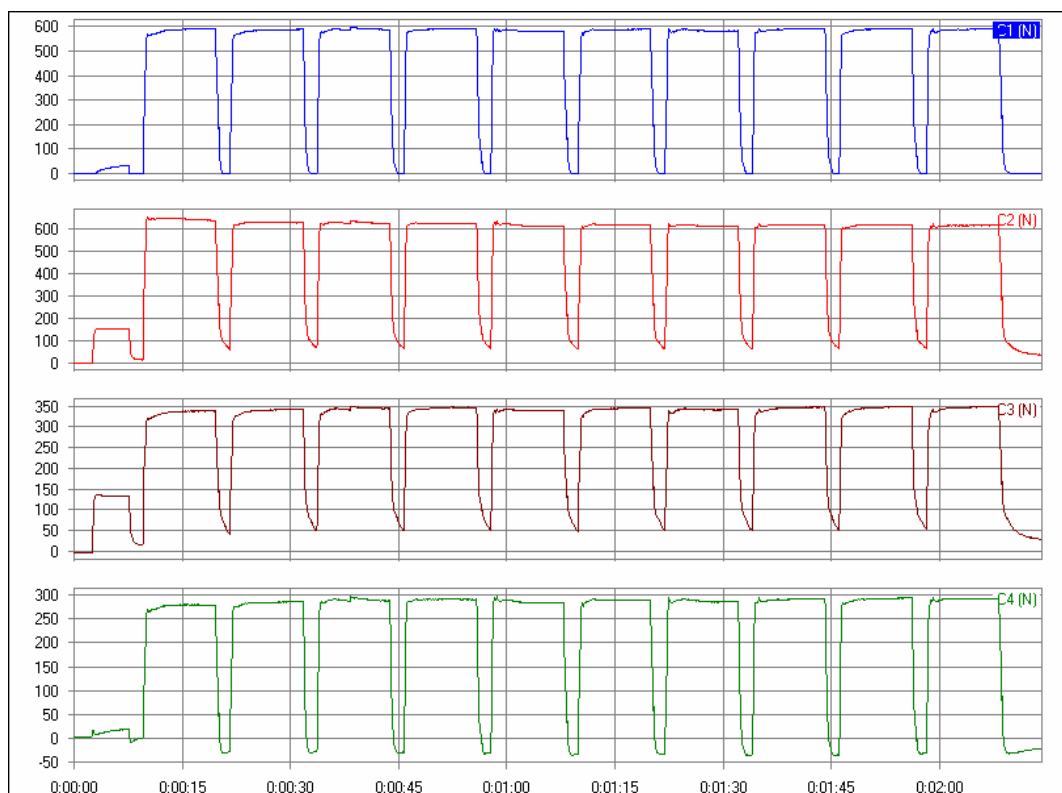


Figura 4.24 Gráfico carga x tempo. Células de carga – cadeira 2 – ensaio 6.4.1

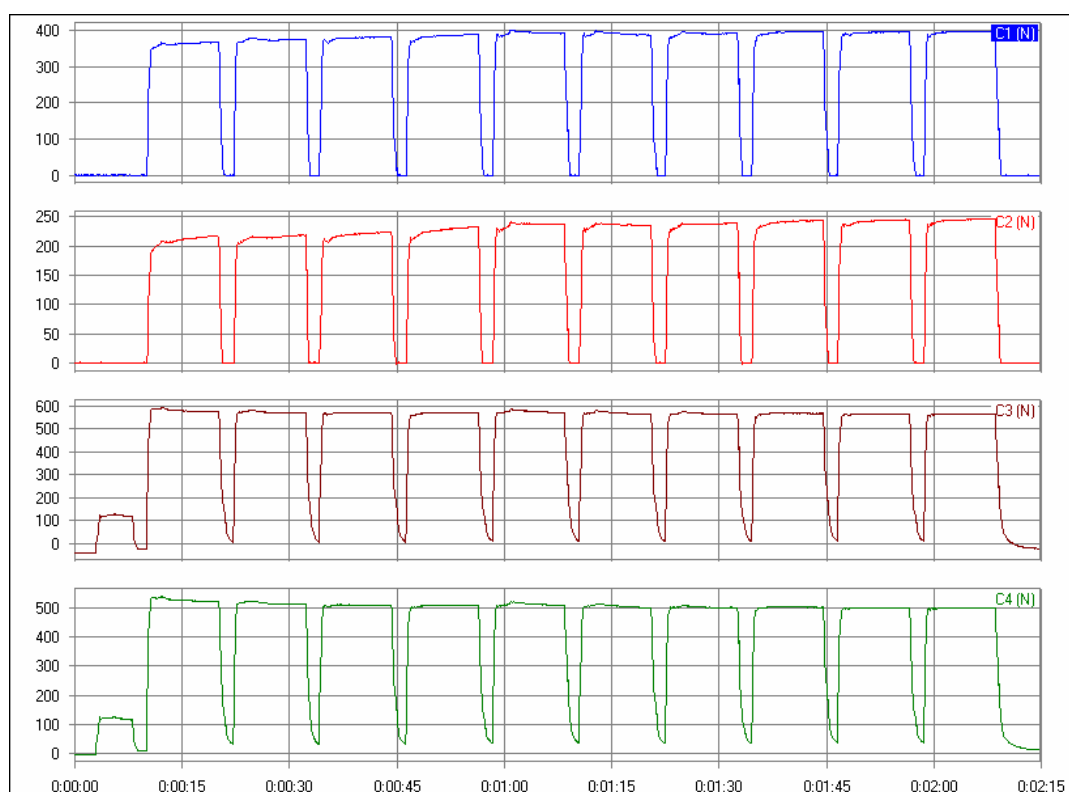


Figura 4.25 Gráfico carga x tempo. Células de carga – cadeira 3 – ensaio 6.4.1

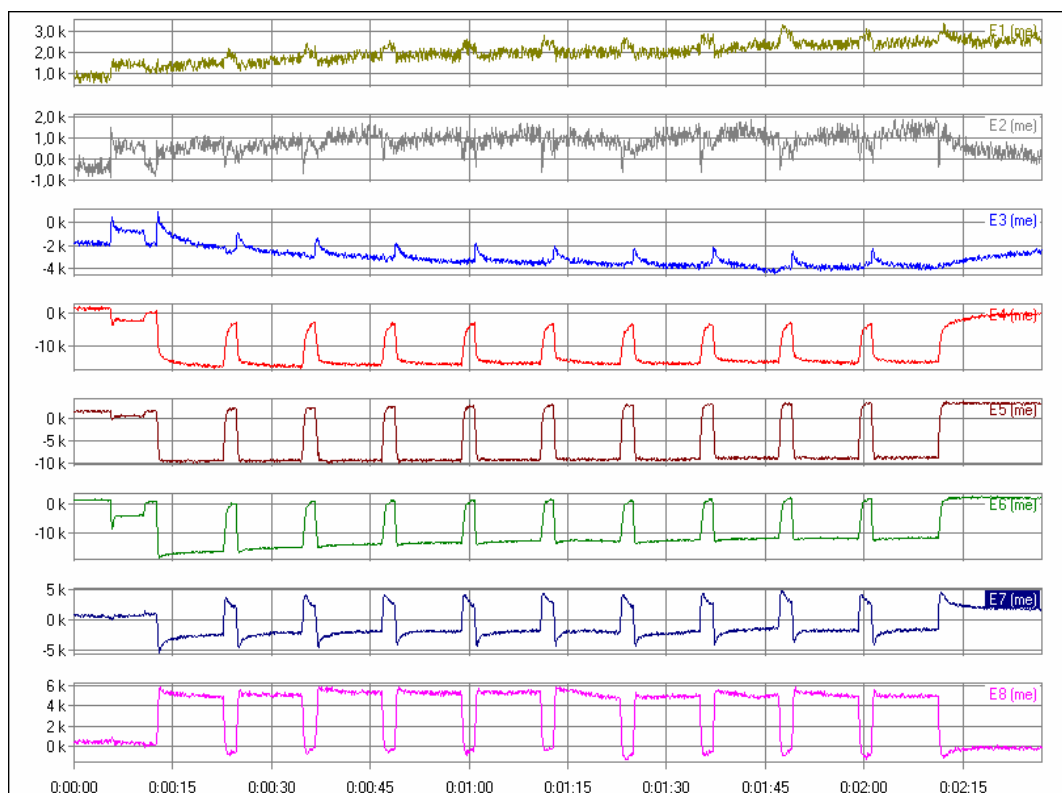


Figura 4.26 Gráfico deformação x tempo. Extensômetros – cadeira 1 – ensaio 6.4.1

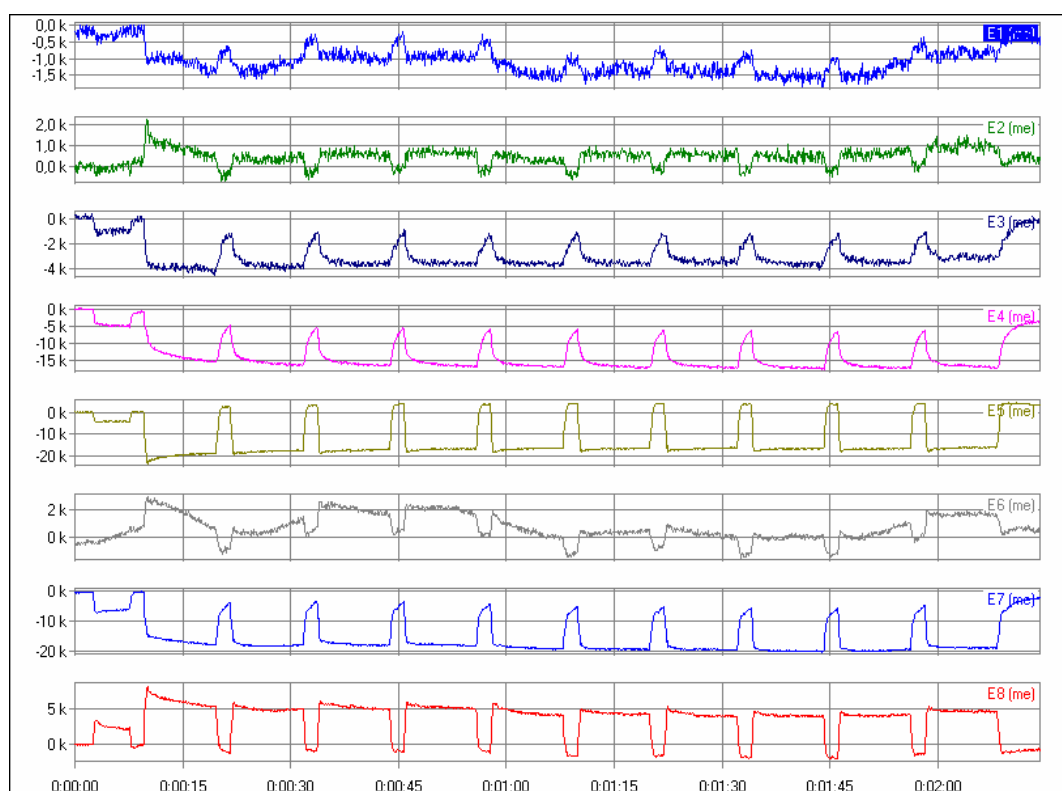


Figura 4.27 Gráfico deformação x tempo. Extensômetros – cadeira 2 – ensaio 6.4.1

$$(k=10^3)$$

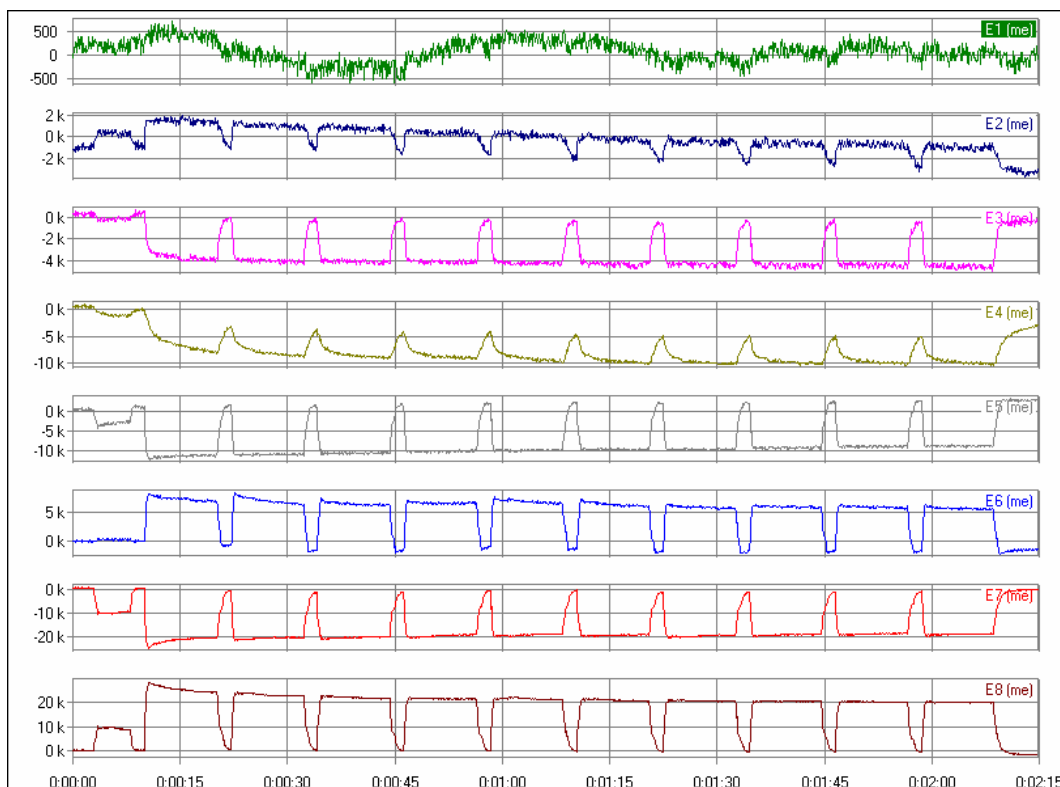


Figura 4.28 Gráfico deformação x tempo. Extensômetros – cadeira 3 – ensaio 6.4.1  
( $k=10^3$ )

Nas tabelas 4.23 a 4.25, estão apresentados os valores médios dos deslocamentos lidos com os DTs durante a última aplicação de carga do ensaio; os valores médios dos valores de carga lidos também durante a última aplicação de carga pelas células de carga e a somatória destas; além do valor médio da deformação de cada extensômetro e o correspondente valor de tensão.

Vale destacar que a tensão de um material não pode ser medida diretamente, ela deve ser calculada a partir de outros parâmetros. Considerando um estado uniaxial de tensões, a tensão se define então com as deformações e as constantes elásticas, como indica a Lei de Hooke (Bodig, 1982), equação 4.15:

$$\sigma_1 = E_1 \cdot \varepsilon_1, \quad (4.15)$$

sendo  $\sigma_1$  a tensão longitudinal,  $E_1$  o módulo de elasticidade longitudinal, e  $\varepsilon_1$  a leitura da deformação do extensômetro.

TABELA 4.23

Valores médios dos deslocamentos - DTs - Ensaio 6.4.1

<b>Cadeira 1 (espiga)</b>		<b>Cadeira 2 (cavilha)</b>		<b>Cadeira 3 (cavilha)</b>	
<b>DT</b>	<b>deslocamento (mm)</b>	<b>DT</b>	<b>deslocamento (mm)</b>	<b>DT</b>	<b>deslocamento (mm)</b>
DT1	0,03	DT1	-0,50	DT1	-0,06
DT2	-0,10	DT2	-	DT2	0,36
DT3	-0,31	DT3	-1,40	DT3	-

TABELA 4.24

Valores médios e total de carga – Células de carga - Ensaio 6.4.1

<b>Cadeira 1 (espiga)</b>		<b>Cadeira 2 (cavilha)</b>		<b>Cadeira 03 (cavilha)</b>	
<b>Célula de carga</b>	<b>carga (N)</b>	<b>Célula de carga</b>	<b>carga (N)</b>	<b>Célula de carga</b>	<b>carga (N)</b>
C1	618,25	C1	585,00	C1	370,00
C2	478,50	C2	615,00	C2	230,00
C3	378,75	C3	345,00	C3	578,50
C4	368,85	C4	290,00	C4	478,00
<b>Total</b>	<b>1844,35</b>	<b>Total</b>	<b>1835,00</b>	<b>Total</b>	<b>1656,50</b>

TABELA 4.25

Valores médios da deformação e de tensão - Extensômetros - Ensaio 6.4.1

	<b>Cadeira 1 (espiga)</b>		<b>Cadeira 2 (cavilha)</b>		<b>Cadeira 3 (cavilha)</b>	
<b>Extensômetro</b>	<b>deformação (x10<sup>-6</sup>)</b>	<b>tensão (MPa)</b>	<b>deformação (x10<sup>-6</sup>)</b>	<b>tensão (MPa)</b>	<b>deformação (x10<sup>-6</sup>)</b>	<b>tensão (MPa)</b>
E1	1627,52	0,29	-747,62	-0,13	117,12	0,02
E2	1666,59	0,30	907,37	0,16	146,40	0,03
E3	-1814,26	-0,32	-3541,67	-0,63	-4689,64	-0,84
E4	-16027,36	-2,86	-16354,69	-2,92	-10012,25	-1,79
E5	-10271,07	-1,83	-16517,18	-2,95	-8642,93	-1,54
E6	-13015,32	-2,32	2205,73	0,39	5193,51	0,93
E7	-2591,80	-0,46	-18690,80	-3,34	-18492,72	-3,30
E8	4419,82	0,79	4744,03	0,85	18787,57	3,36

A tensão se manteve praticamente constante durante todas as aplicações, colocando em discussão a real necessidade da repetição por 10 vezes da aplicação de carga. Além disso, seu valor ficou bem inferior ao valor de ruptura do material *Eucalyptus grandis* (70MPa).

#### **4.4.1.2 Ensaio de carga estática no encosto da cadeira (6.4.2)**

No ensaio de cargas horizontais no encosto de cadeiras escolares, (NBR 14006/2003 – 6.4.2), a carga de 760N é aplicada no encosto por 10 vezes, a uma frequência não maior do que 40 vezes por minuto. Uma massa de balanceamento, no valor de 1800N, é posicionada no assento durante todo o ensaio. Deve-se prevenir o movimento para trás da cadeira com o uso de travas posicionadas atrás dos pés traseiros.

Na décima aplicação da força horizontal, deve-se medir a deflexão (D). Este valor (D) dividido pela distância entre assento e encosto (H) deve ser menor que 0,6 pela NBR 14006/2003 ou 0,1 pela NBR 14006/2008.

O ensaio da cadeira 1 durou 55 segundos. A carga dos pés oscila com a aplicação da carga estática horizontal mesmo com a carga de balanceamento se mantendo constante. O valor total de carga nos pés, quando não está sendo aplicada a carga horizontal, foi de 1881N, 4,5% a mais do que a proposta. Nesse ensaio, os valores lidos pelo DT 1 foram alterados devido à interferência da leitura ocasionada pela variação da resistividade elétrica (ruído) do elemento sensor. Não houve dano aparente.

Para a cadeira 2, o ensaio durou 54 segundos. O valor total de carga nos pés, quando não estava sendo aplicada a carga horizontal, foi de 1873,20N, 4% a mais do que a prevista. Novamente o DT 1 não conseguiu capturar os dados e também houve o giro os DTs 2 e 3 crescendo valores de deslocamento e tornando-os maiores do que os reais. Não houve dano aparente.

O ensaio da cadeira 3 durou 55 segundos. O valor total de carga nos pés, quando não estava sendo aplicada a carga horizontal, foi 4% a mais do que a proposta, no valor de

1870N. Nesse ensaio, o DT 3 não conseguiu capturar os dados e o giro ocorreu nos DTs 1 e 2. Não houve dano aparente.

Apresentam-se a seguir os gráficos de cada equipamento de leitura durante todo o ensaio (figuras 4.29 a 4.37) e as tabelas 4.26 a 4.28 com os valores médios lidos durante a última aplicação de carga.

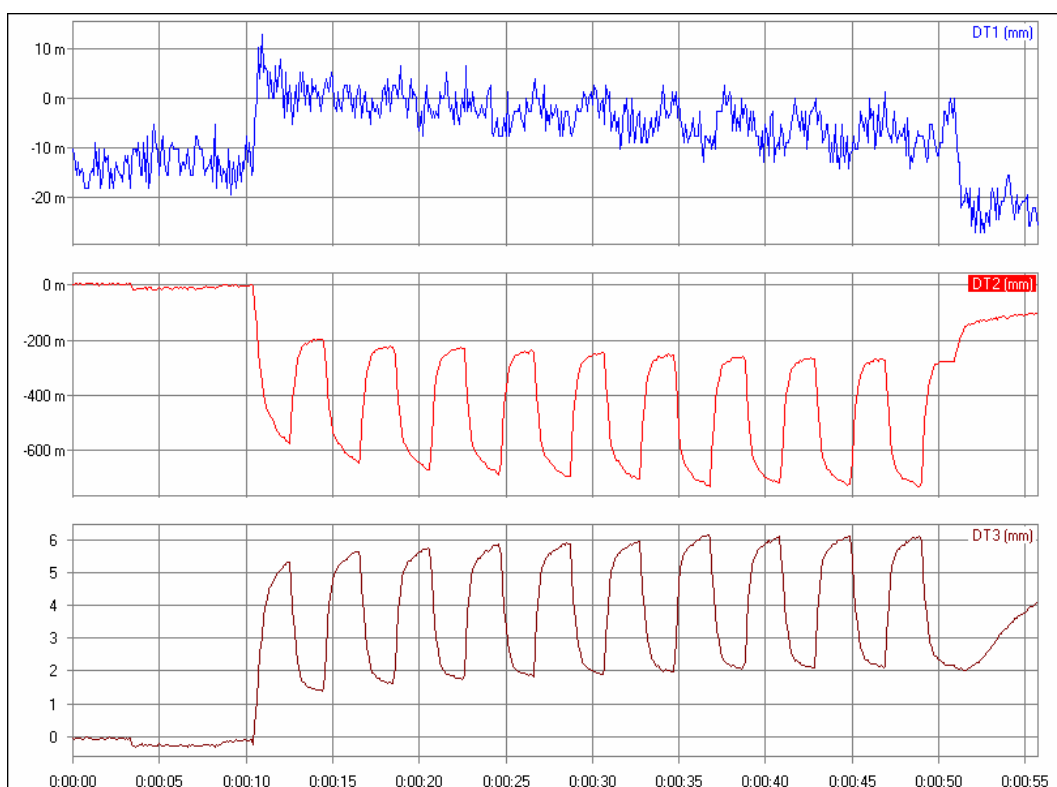


Figura 4.29 Gráfico deslocamento x tempo. DTs – cadeira 1 – ensaio 6.4.2 ( $m=10^{-3}$ )

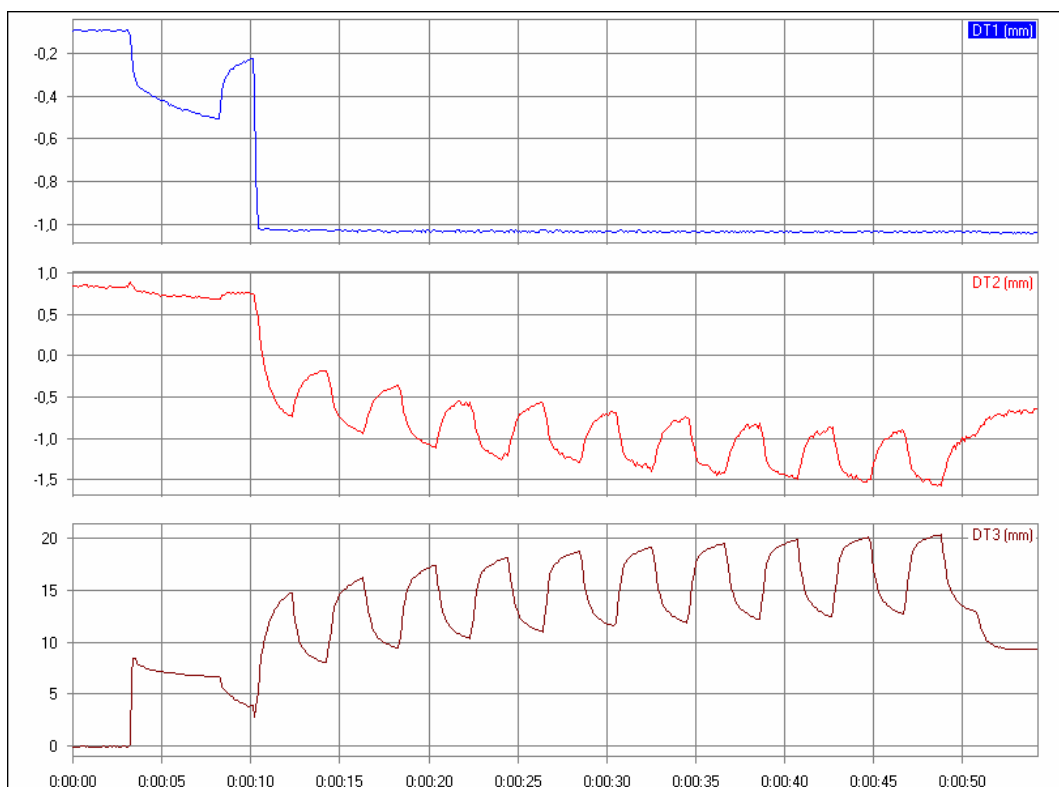


Figura 4.30 Gráfico deslocamento x tempo. DTs – cadeira 2 – ensaio 6.4.2

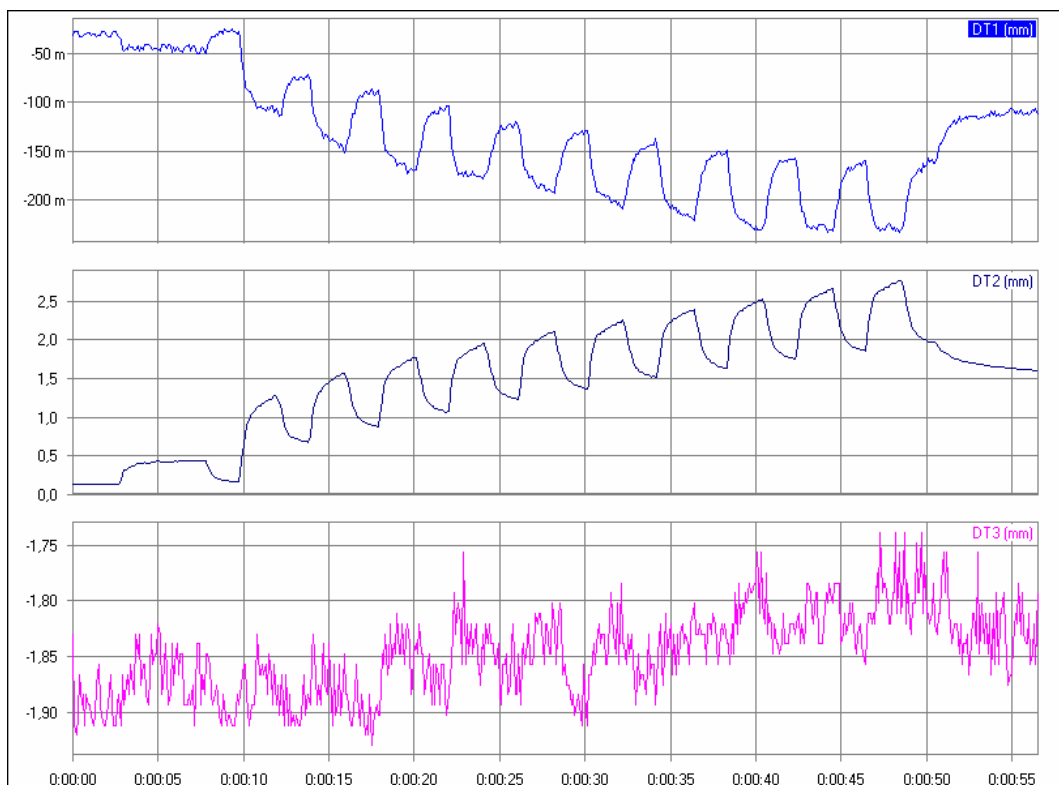


Figura 4.31 Gráfico deslocamento x tempo. DTs – cadeira 3 – ensaio 6.4.2 ( $m=10^{-3}$ )

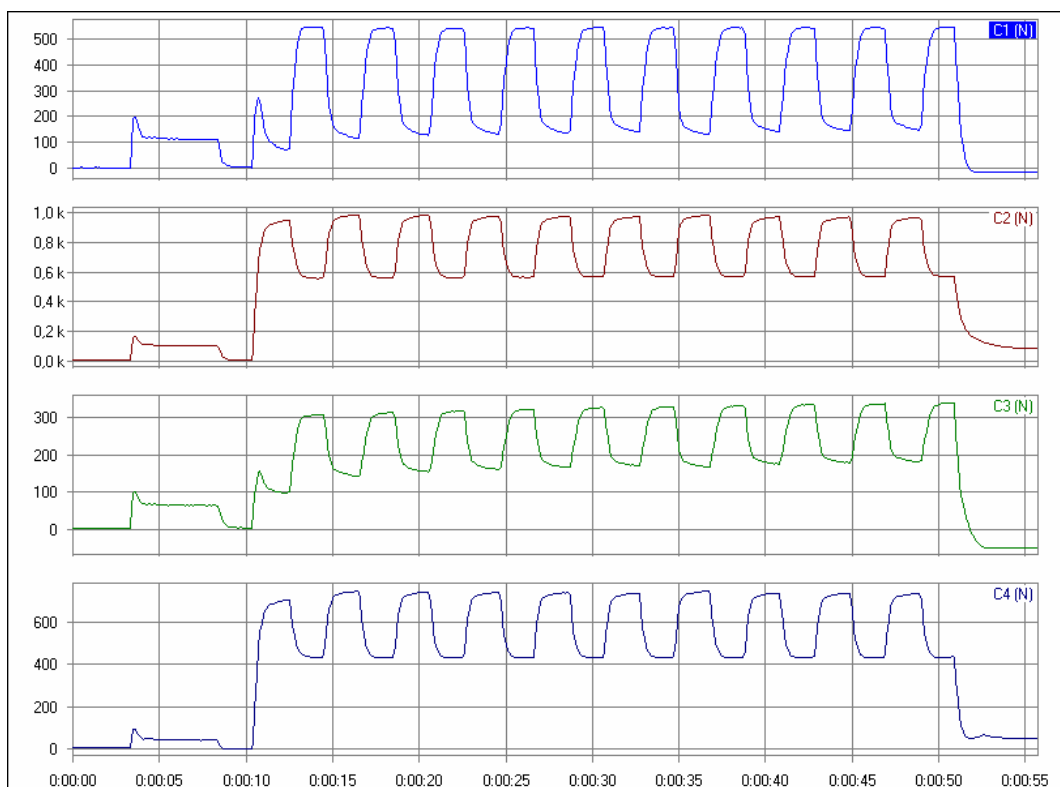


Figura 4.32 Gráfico carga x tempo. Células de carga – cadeira 1 – ensaio 6.4.2  
( $k=10^3$ )

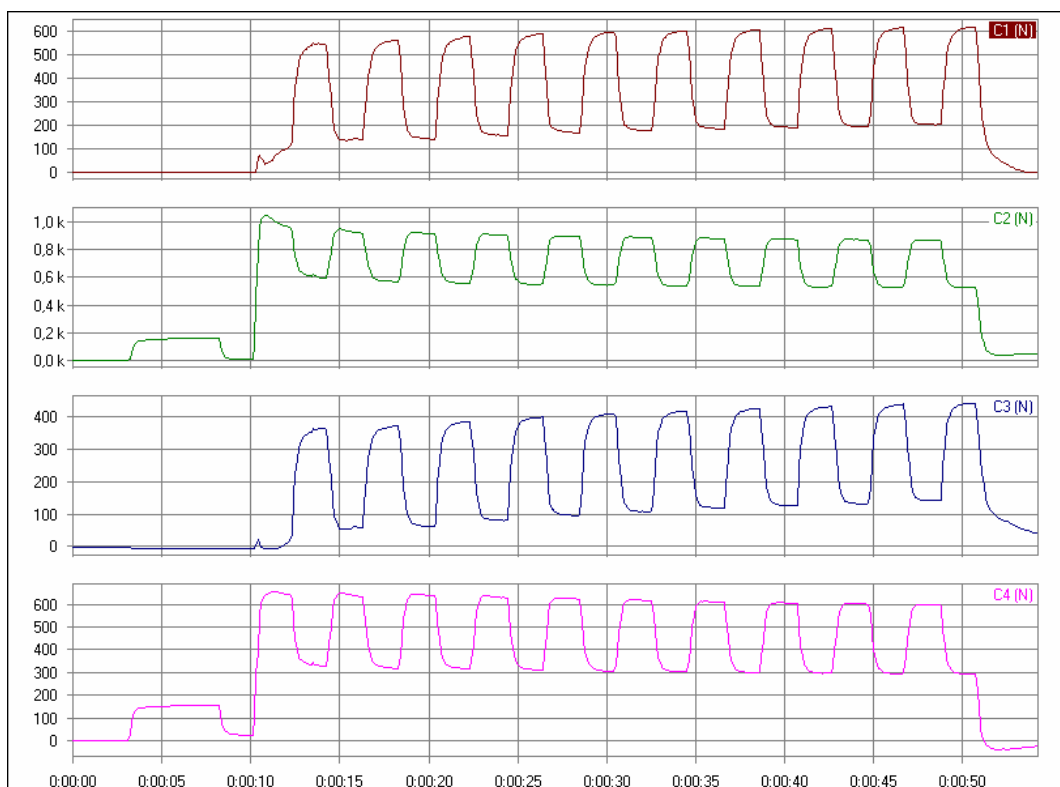


Figura 4.33 Gráfico carga x tempo. Células de carga – cadeira 2 – ensaio 6.4.2

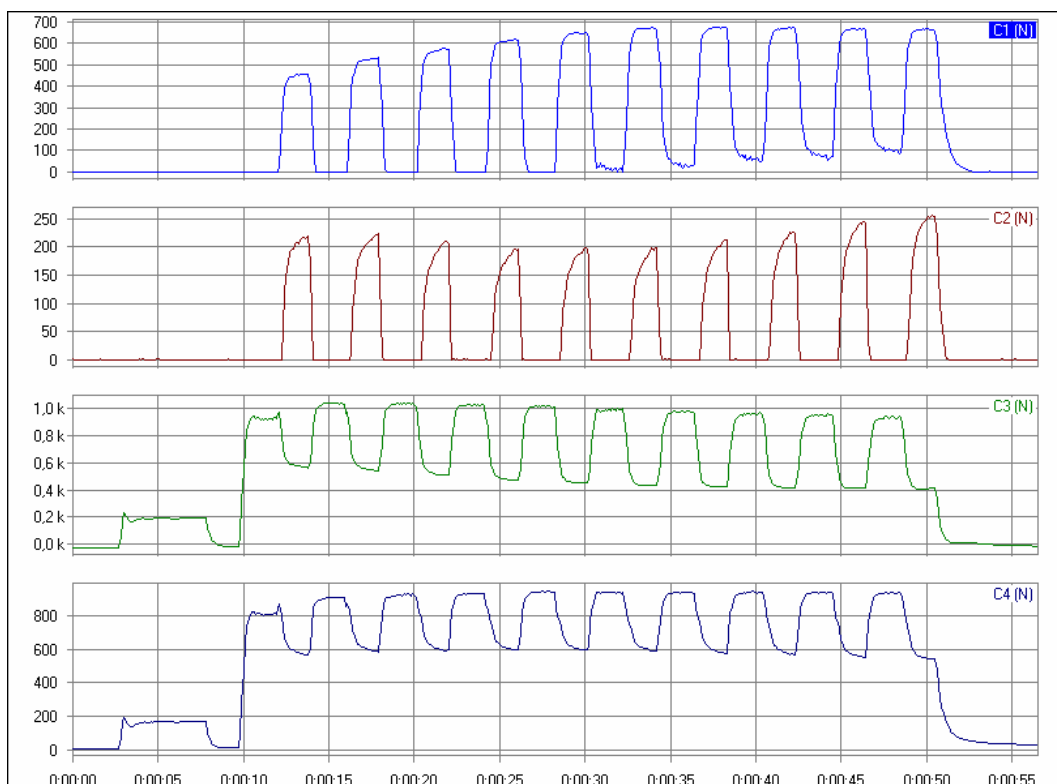


Figura 4.34 Gráfico carga x tempo. Células de carga – cadeira 3 – ensaio 6.4.2

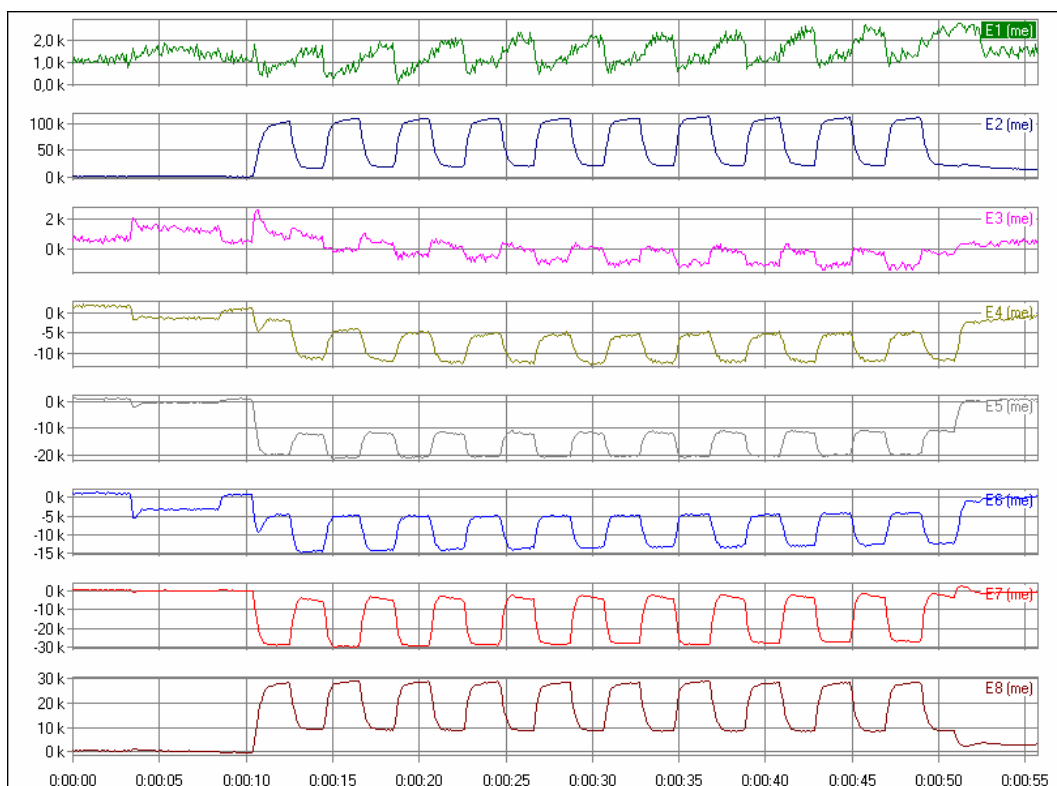


Figura 4.35 Gráfico deformação x tempo. Extensômetros – cadeira 1 – ensaio 6.4.2  
( $k=10^3$ )

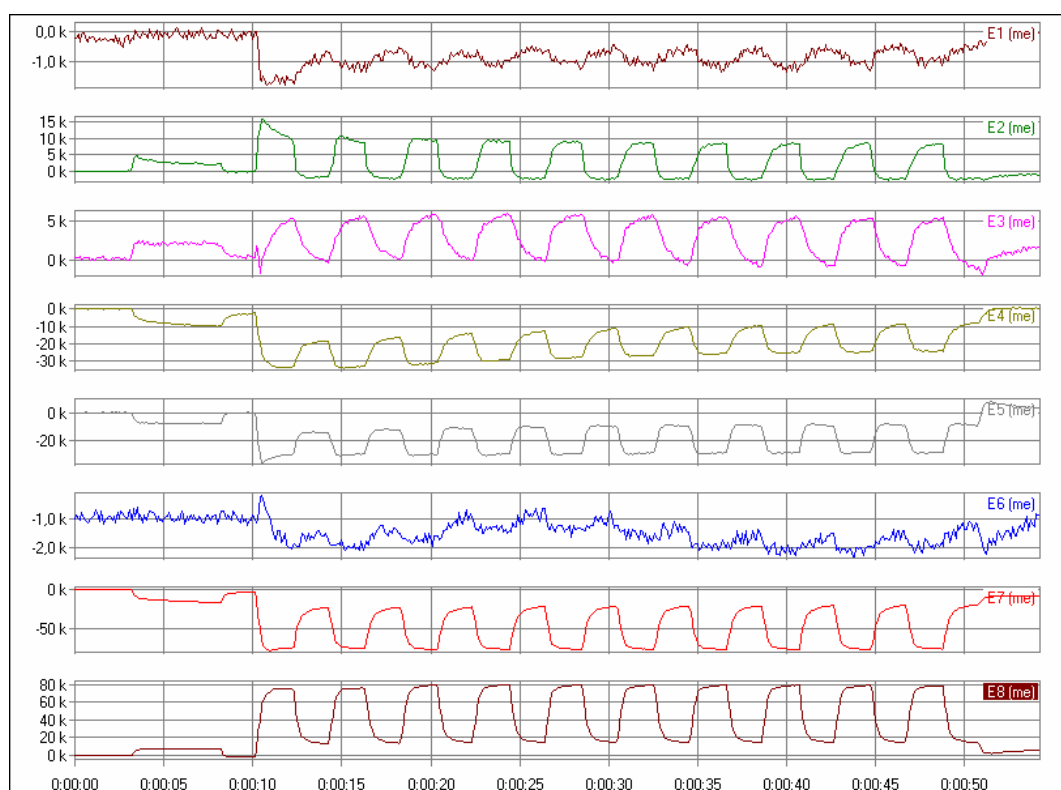


Figura 4.36 Gráfico deformação x tempo. Extensômetros – cadeira 2 – ensaio 6.4.2

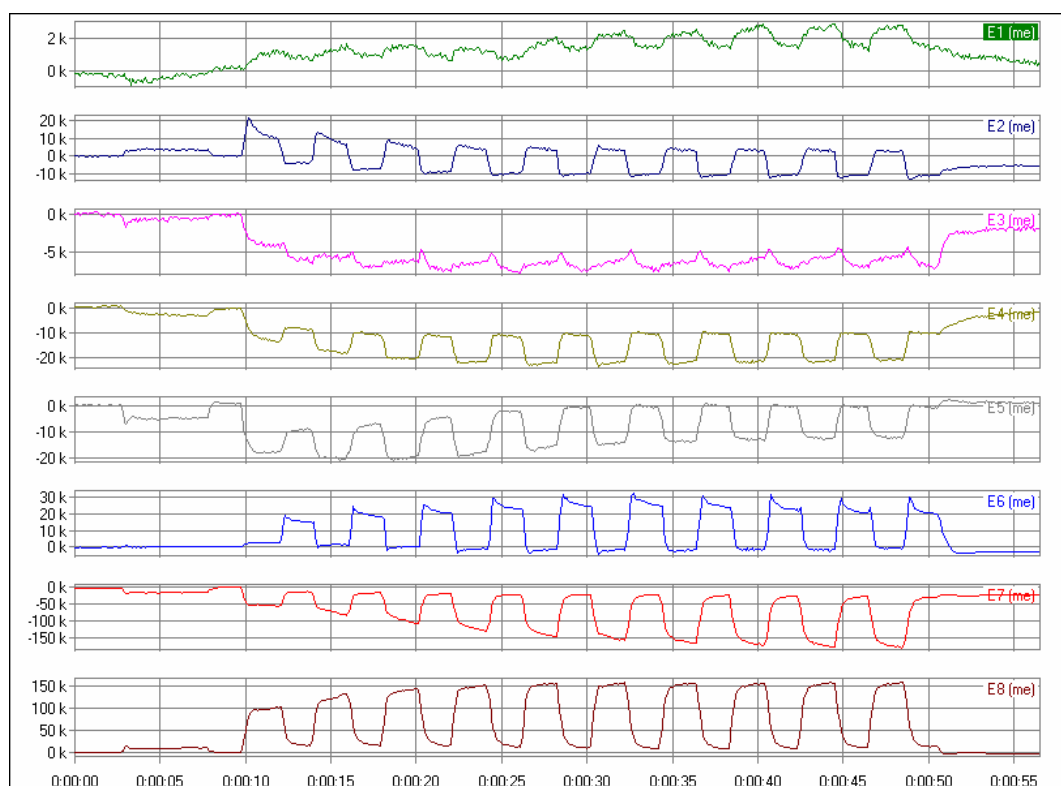


Figura 4.37 Gráfico deformação x tempo. Extensômetros – cadeira 3 – ensaio 6.4.2

$$(k=10^3)$$

TABELA 4.26

Valores médios dos deslocamentos - DTs - Ensaio 6.4.2

<b>Cadeira 1 (espiga)</b>		<b>Cadeira 2 (cavilha)</b>		<b>Cadeira 3 (cavilha)</b>	
<b>DT</b>	<b>deslocamento (mm)</b>	<b>DT</b>	<b>deslocamento (mm)</b>	<b>DT</b>	<b>deslocamento (mm)</b>
DT1	-	DT1	-	DT1	-0,20
DT2	-0,69	DT2	-1,89	DT2	2,59
DT3	5,86	DT3	13,70	DT3	-

TABELA 4.27

Valores médios e total de carga com e sem a aplicação da carga horizontal – Células de carga - Ensaio 6.4.2

<b>Cadeira 1 (espiga)</b>		<b>Cadeira 2 (cavilha)</b>		<b>Cadeira 3 (cavilha)</b>	
<b>Célula de carga com carga horizontal</b>	<b>carga (N)</b>	<b>Célula de carga</b>	<b>carga (N)</b>	<b>Célula de carga</b>	<b>carga (N)</b>
C1	165,79	C1	605,02	C1	98,41
C2	947,29	C2	530,45	C2	-0,88
C3	187,82	C3	436,98	C3	961,08
C4	722,66	C4	296,72	C4	926,49
<b>Total</b>	<b>2023,56</b>	<b>Total</b>	<b>1869,16</b>	<b>Total</b>	<b>1985,10</b>
<b>Célula de carga sem carga horizontal</b>	<b>carga (N)</b>	<b>Célula de carga</b>	<b>carga (N)</b>	<b>Célula de carga</b>	<b>carga (N)</b>
C1	537,85	C1	204,50	C1	665
C2	570,25	C2	870	C2	255
C3	332,10	C3	141,75	C3	410
C4	433,00	C4	599,85	C4	540
<b>Total</b>	<b>1873,20</b>	<b>Total</b>	<b>1816,10</b>	<b>Total</b>	<b>1870</b>

TABELA 4.28

Valores médios da deformação e de tensão - Extensômetros - Ensaio 6.4.2

	<b>Cadeira 1 (espiga)</b>		<b>Cadeira 2 (cavilha)</b>		<b>Cadeira 3 (cavilha)</b>	
<b>Extensômetro</b>	<b>deformação (x10<sup>-6</sup>)</b>	<b>tensão (MPa)</b>	<b>deformação (x10<sup>-6</sup>)</b>	<b>tensão (MPa)</b>	<b>deformação (x10<sup>-6</sup>)</b>	<b>tensão (MPa)</b>
E1	425,58	0,08	-355,77	-0,06	2832,00	0,51
E2	105094,88	18,77	-2129,17	-0,38	2440,00	0,44
E3	-1554,29	-0,28	-574,22	-0,10	-5653,85	-1,01
E4	-7425,91	-1,33	-9281,25	-1,66	-21353,85	-3,81
E5	-19989,39	-3,57	-8942,71	-1,60	-12366,67	-2,21
E6	-5599,82	-1,00	-312,50	-0,06	-461,90	-0,08
E7	-27499,05	-4,91	-22252,08	-3,97	-176852,00	-31,58
E8	26499,79	4,73	16806,25	3,00	156799,95	28,00

Mais uma vez a tensão se manteve praticamente constante durante todas as aplicações. Entretanto, apesar do seu valor ter ficado, para a maioria, bem menor do que a tensão de ruptura do material, no extensômetro 2 da cadeira 1 e nos extensômetros 7 e 8 da cadeira 3 seu valor foi mais significativo. Mas como estes foram registros pontuais e não foi observada sua ocorrência em todos os protótipos, acredita-se que tenham sido erros de leitura.

Quanto à verificação da deflexão do encosto, esse valor ficou bem abaixo do esperado nos ensaios com as cadeiras 1 ( $D/H = 5,86/345,2 = 0,01$ ) e 2 ( $D/H = 13,70/345,2 = 0,03$ ). Com a cadeira 3, em função do erro na leitura do DT 3, essa variável não pode ser verificada.

#### 4.4.1.3 Ensaio de fadiga no assento da cadeira (6.4.3)

O ensaio de fadiga no assento de cadeiras escolares consiste em sujeitar essa parte a cargas que simulem o ato de assentar. São 200.000 aplicações no valor de 950N, a uma frequência não maior que 40 vezes por minuto. Para a NBR 14006/2008, esse valor decresceu para 100.000 aplicações no mesmo valor com uma frequência de 15 ciclos por minuto. Adotou-se aqui o proposto pela NBR 14006/2003.

O ensaio com a cadeira 1 durou 226 horas (9 dias e 9 horas). Os DTs conseguiram registrar bem os valores, até quase o final. Com 212 horas de ensaio, o DT2 começou a registrar leituras estranhas e, próximo ao 6º dia, o E3 parou de ler. Não houve dano aparente.

Com a cadeira 2, o ensaio durou 226 horas e 20 minutos. Houve oscilações nos dados lidos pelos DTs e os extensômetros 1 e 6 oscilaram bastante desde o início do ensaio e os extensômetros 7 e 8 no final. Não houve dano aparente.

Já o ensaio com a cadeira 3 totalizou quase 227 horas. Os DTs praticamente não registraram nenhuma leitura, bem como o extensômetro 6. Não houve dano aparente.

Novamente, apresentam-se os gráficos (figuras 4.38 a 4.46) e tabelas (4.29 a 4.31) de cada equipamento de leitura, visando ao entendimento do ocorrido no ensaio. Nesse caso, os valores correspondem a valores médios retirados próximo ao fim dos ensaios.

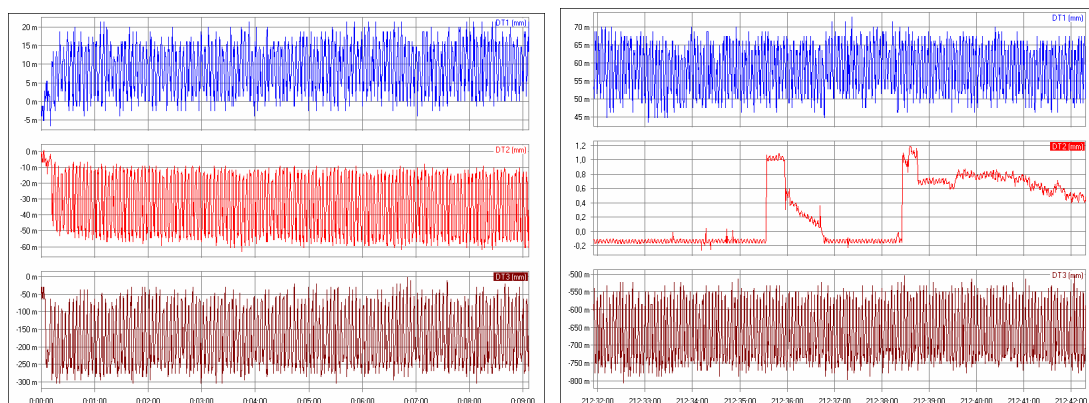


Figura 4.38 Gráficos deslocamento x tempo: detalhe do início e fim do ensaio. DTs – cadeira 1 – ensaio 6.4.3 ( $m=10^{-3}$ )

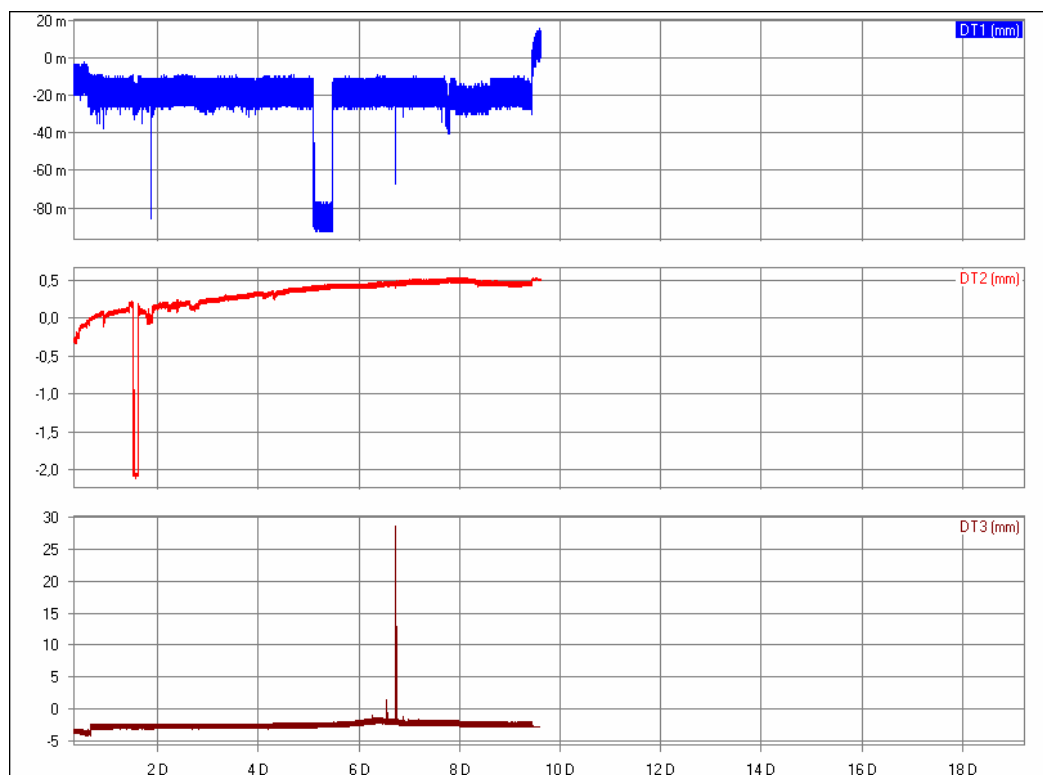


Figura 4.39 Gráfico deslocamento x tempo: panorama geral do ensaio. DTs – cadeira  
2 – ensaio 6.4.3 ( $m=10^{-3}$ )

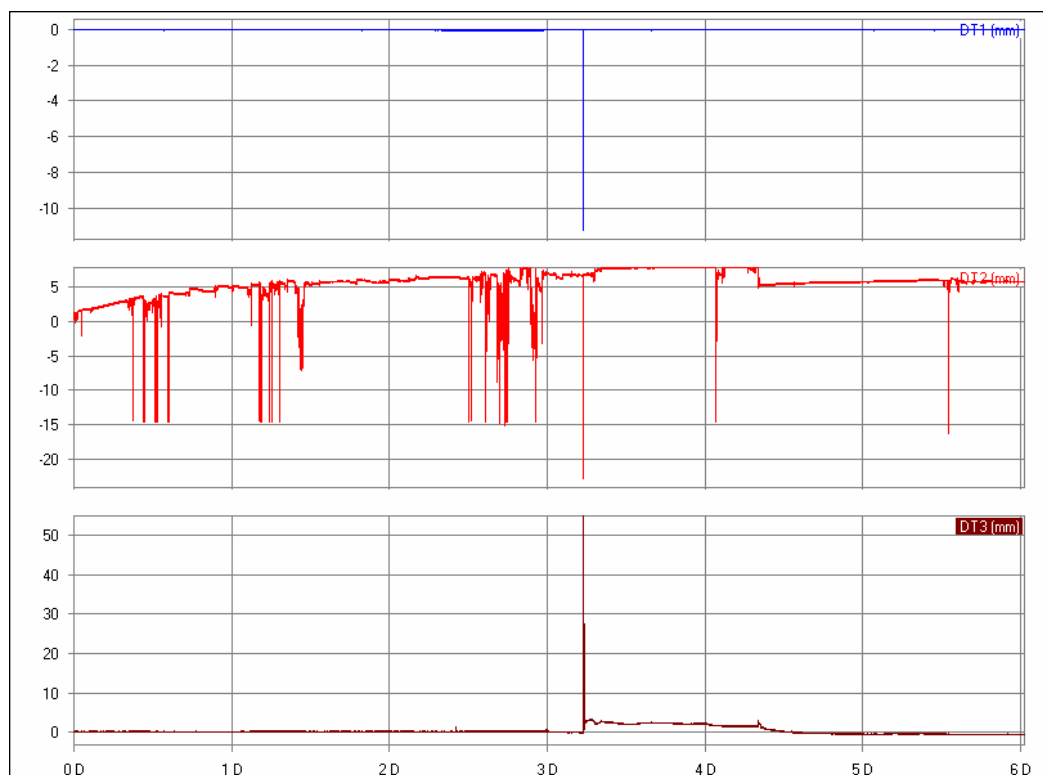


Figura 4.40 Gráfico deslocamento x tempo: panorama geral do ensaio. DTs – cadeira  
3 – ensaio 6.4.3

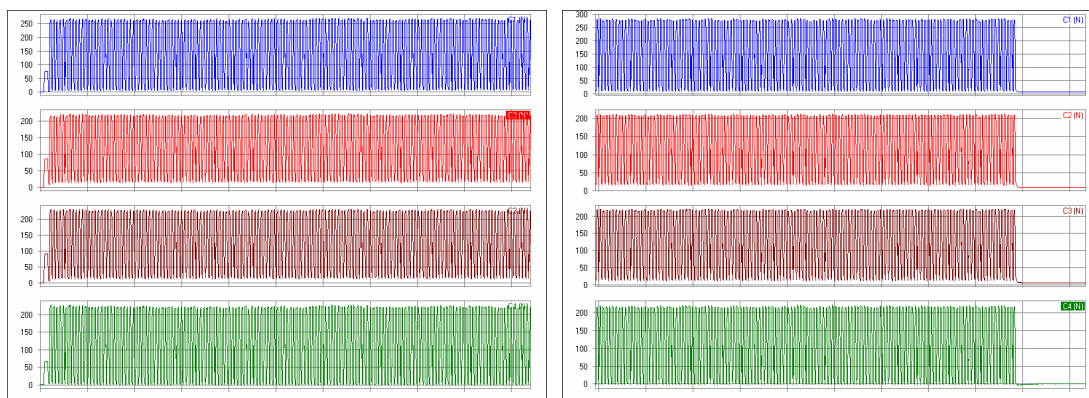


Figura 4.41 Gráficos carga x tempo: detalhe do início e fim do ensaio. Células de carga – cadeira 1 – ensaio 6.4.3

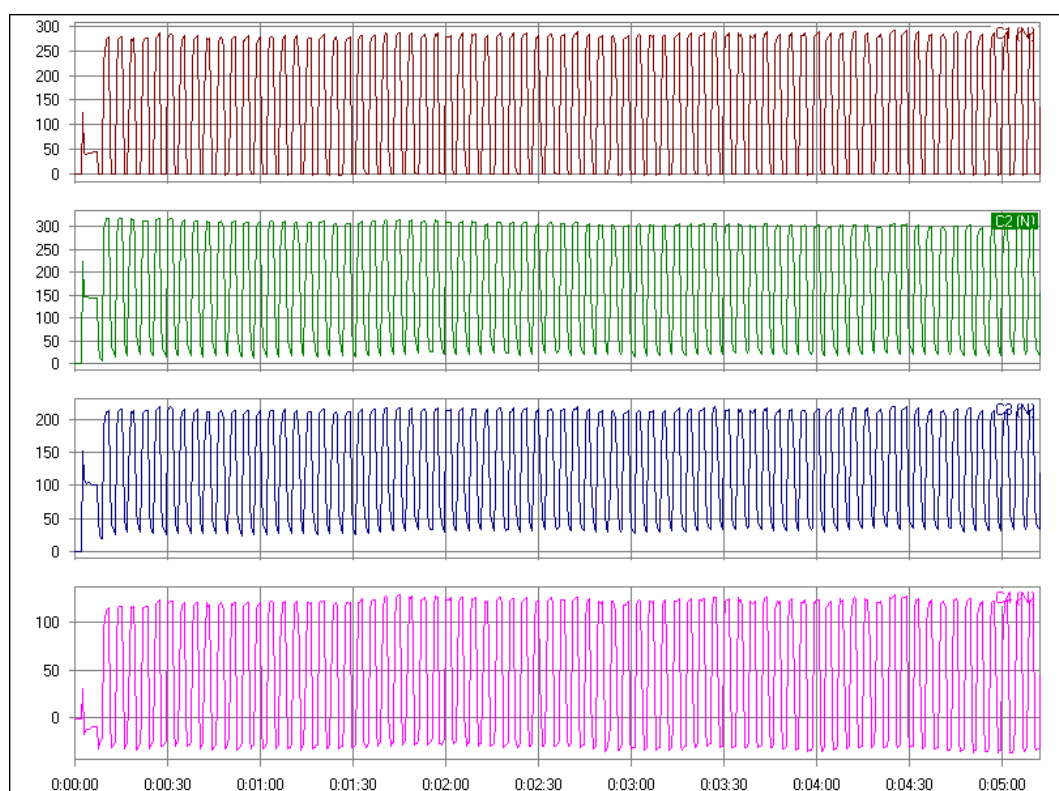


Figura 4.42 Gráfico carga x tempo: detalhe trecho inicial. Células de carga – cadeira 2 – ensaio 6.4.3

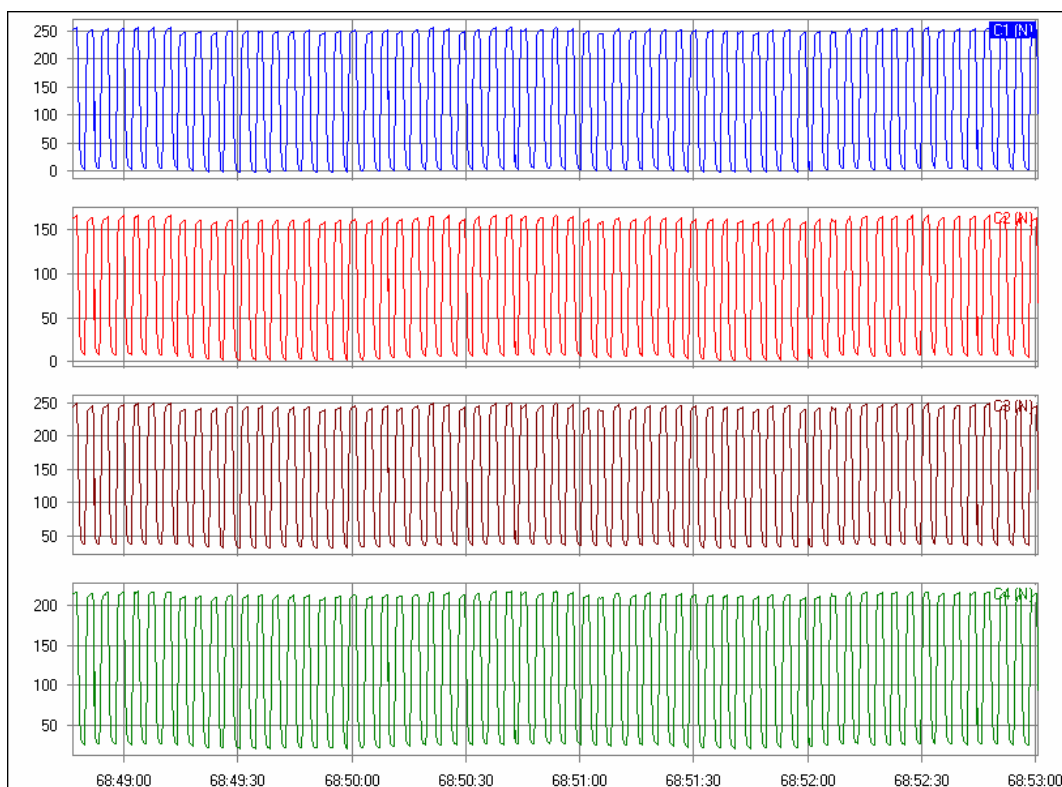


Figura 4.43 Gráfico carga x tempo: detalhe trecho do meio. Células de carga – cadeira 3 – ensaio 6.4.3

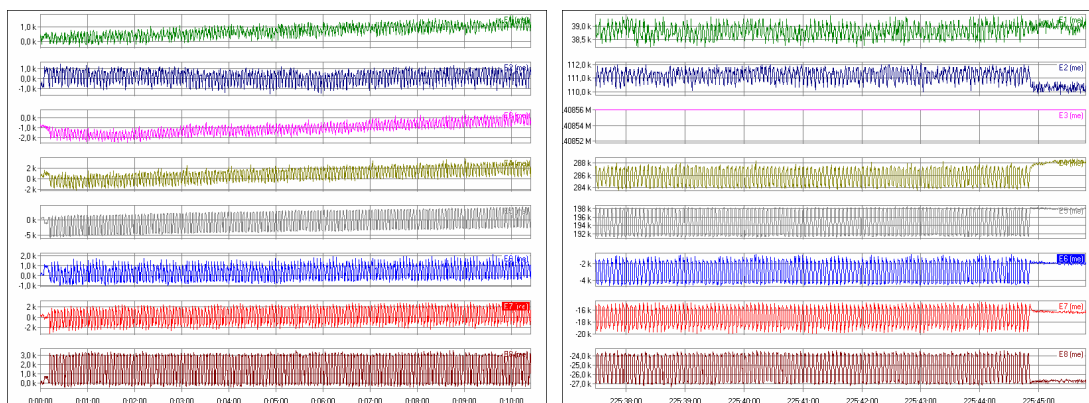


Figura 4.44 Gráficos deformação x tempo: detalhe do início e fim do ensaio. Extensômetros – cadeira 1 – ensaio 6.4.3 ( $k=10^3$ )

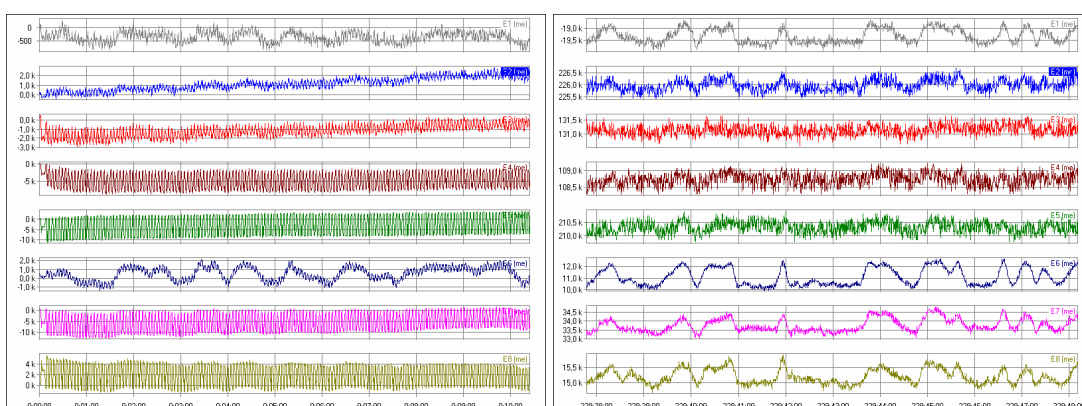


Figura 4.45 Gráfico deformação x tempo: detalhe do início e fim do ensaio.  
Extensômetros – cadeira 2 – ensaio 6.4.3 ( $k=10^3$ )

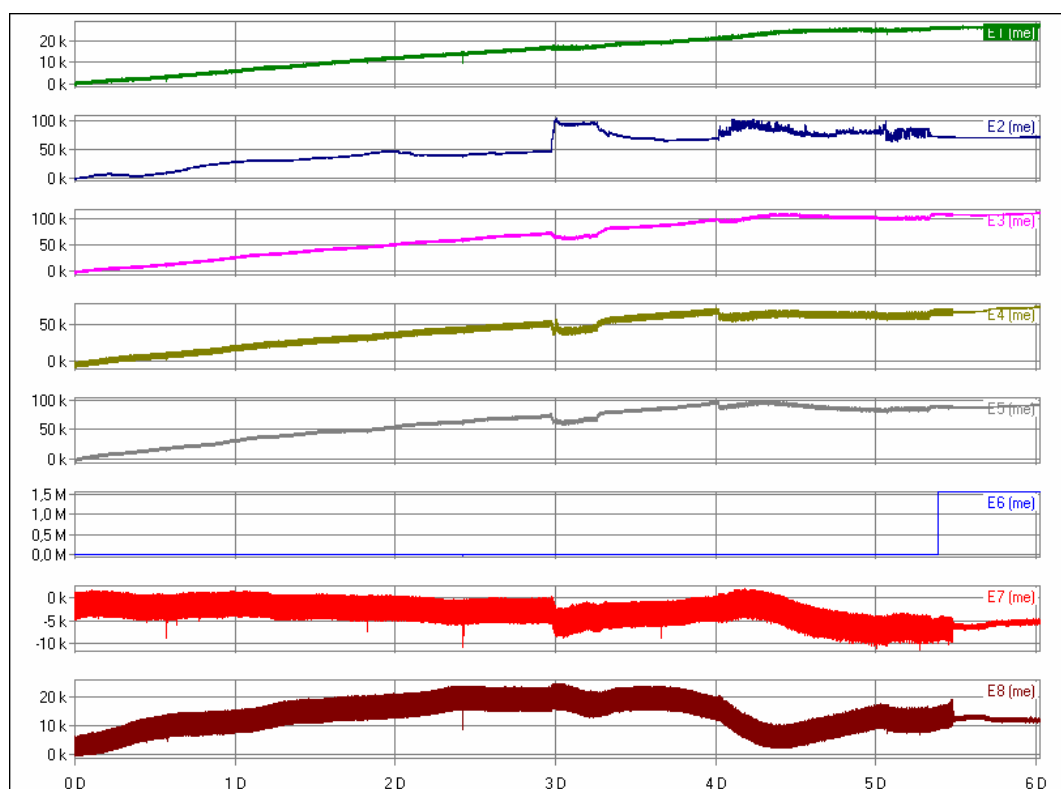


Figura 4.46 Gráfico deformação x tempo: panorama geral do ensaio. Extensômetros – cadeira 3 – ensaio 6.4.3 ( $k=10^3$ )

TABELA 4.29  
Valores médios dos deslocamentos - DTs - Ensaio 6.4.3

<b>Cadeira 1 (espiga)</b>		<b>Cadeira 2 (cavilha)</b>		<b>Cadeira 3 (cavilha)</b>	
<b>DT</b>	<b>deslocamento (mm)</b>	<b>DT</b>	<b>deslocamento (mm)</b>	<b>DT</b>	<b>deslocamento (mm)</b>
DT1	0,05	DT1	-0,01	DT1	-
DT2	-0,01	DT2	-0,48	DT2	-
DT3	-	DT3	-2,67	DT3	-

TABELA 4.30  
Valores médios e total de carga - Células de carga - Ensaio 6.4.3

<b>Cadeira 1 (espiga)</b>		<b>Cadeira 2 (cavilha)</b>		<b>Cadeira 3 (cavilha)</b>	
<b>Célula de carga</b>	<b>carga (N)</b>	<b>Célula de carga</b>	<b>carga (N)</b>	<b>Célula de carga</b>	<b>carga (N)</b>
C1	224,83	C1	246,95	C1	237,26
C2	171,33	C2	275,09	C2	138,91
C3	178,87	C3	194,87	C3	230,48
C4	172,93	C4	103,77	C4	201,42
<b>Total</b>	<b>747,97</b>	<b>Total</b>	<b>820,68</b>	<b>Total</b>	<b>808,08</b>

TABELA 4.31  
Valores médios da deformação e de tensão - Extensômetros - Ensaio 6.4.3

	<b>Cadeira 1 (espiga)</b>		<b>Cadeira 2 (cavilha)</b>		<b>Cadeira 3 (cavilha)</b>	
<b>Extensômetro</b>	<b>deformação (<math>\times 10^{-6}</math>)</b>	<b>tensão (MPa)</b>	<b>deformação (<math>\times 10^{-6}</math>)</b>	<b>tensão (MPa)</b>	<b>deformação (<math>\times 10^{-6}</math>)</b>	<b>tensão (MPa)</b>
E1	31639,83	5,65	-518,52	-0,09	360,00	0,06
E2	91451,12	16,33	628,57	0,11	-173,47	-0,03
E3	-	-	-1885,71	-0,34	-2791,21	-0,50
E4	227694,74	40,66	-7214,29	-1,29	-5244,90	-0,94
E5	154586,93	27,61	-7784,62	-1,39	-2604,40	-0,47
E6	-2896,10	-0,52	-472,73	-0,08	-	-
E7	-14912,07	-2,66	-10443,48	-1,87	-3137,14	-0,56
E8	-18788,52	-3,36	2978,95	0,53	4962,73	0,89

Os valores de tensão foram aumentando durante todo o ensaio, mas se mantiveram baixos durante os diversos ciclos, com exceção dos extensômetros 2, 4 e 5 da cadeira 1.

Mais uma vez, como esses foram registros pontuais, não se acredita que sejam importantes.

Percebeu-se que este ensaio é importante e bem representativo da realidade cotidiana do móvel escolar.

#### **4.4.1.4 Ensaio de fadiga no encosto da cadeira (6.4.4)**

No ensaio de fadiga no encosto de cadeiras escolares, uma carga de 330N é aplicada por 200.000 vezes, a uma frequência não maior que 40 vezes por minuto no encosto, enquanto uma massa de balanceamento no valor de 950N é posicionada no assento. Com a atualização da NBR 14006/2008, os valores permaneceram inalterados, mas o número de aplicações foi reduzido para 100.000.

O ensaio com a cadeira 1 foi de 222 horas e 15 minutos (aproximadamente 9 dias e 6 horas). Foi aplicada uma carga de balanceamento 2,85% maior que a prevista (somatório das cargas das células de carga igual a 977,15N e não 950N conforme previsto). O DT 2 teve momentos de pico, mas, por fim, houve a estabilização da leitura. Os extensômetros tiveram um acréscimo gradativo no valor lido inicialmente, mas depois houve uma estabilização. Não houve dano aparente.

O ensaio com a cadeira 2 também foi de 222 horas e 15 minutos (9 dias e 6 horas). Nesse caso, uma carga de balanceamento aplicada foi 7% menor que a prevista (somatório das cargas das células de carga igual a 882,65N). Ao final do segundo dia de ensaio, houve um pico de carga, mas as células de carga se estabilizaram a seguir. Os extensômetros 1 e 6 tiveram uma leitura bem alterada, com grandes oscilações. Não houve dano aparente.

O ensaio da cadeira 3 teve 217 horas de duração (9 dias). Foi aplicada uma carga de balanceamento de 957,90N, valor muito próximo dos 950N previstos. Houve dois picos de carga no início do segundo e meio do terceiro dia, e os DTs tiveram leituras bem alteradas, principalmente os DTs 2 e 3. As células de carga tiveram um valor de pico no

início do ensaio. Durante o ensaio, apareceram falhas de leitura, o não-registro das oscilações, sem motivo aparente. Os extensômetros de 1 a 6 foram aumentando o valor de deformação gradativamente até o fim do ensaio. Também não houve dano aparente.

O comportamento de cada equipamento de leitura durante todo o ensaio é melhor percebido nas figuras 4.47 a 4.55 e tabelas 4.32 a 4.34.

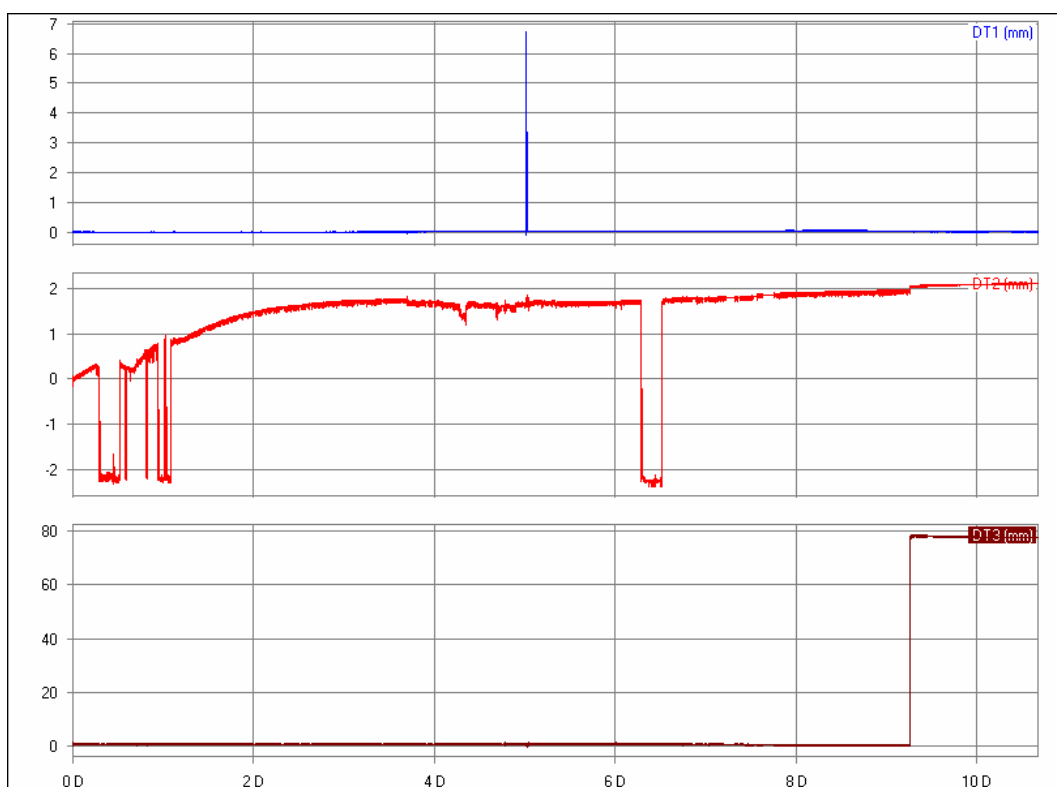


Figura 4.47 Gráfico deslocamento x tempo: panorama geral. DTs – cadeira 1 – ensaio

6.4.4

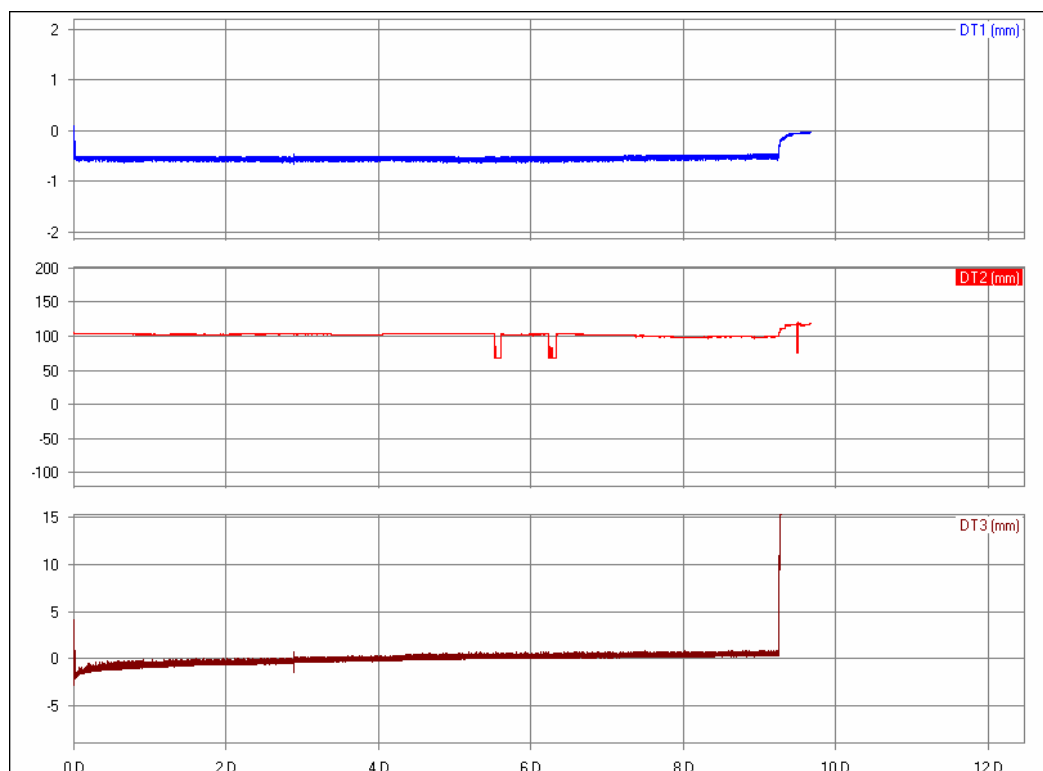


Figura 4.48 Gráfico deslocamento x tempo: panorama geral. DTs – cadeira 2 – ensaio

6.4.4

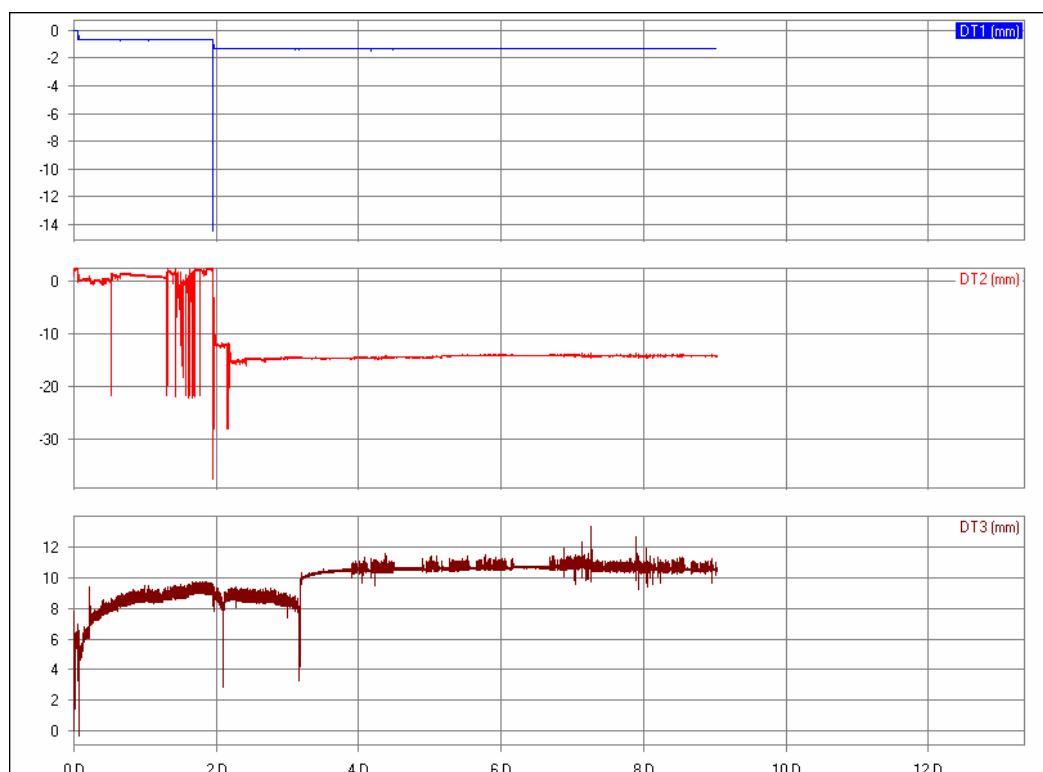


Figura 4.49 Gráfico deslocamento x tempo: panorama geral. DTs – cadeira 3 – ensaio

6.4.4

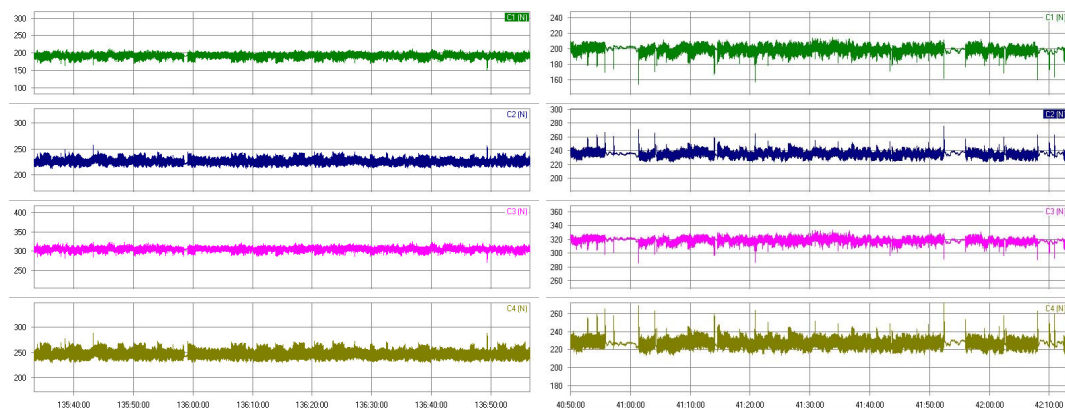


Figura 4.50 Gráfico carga x tempo: detalhe leitura sem e com falhas. Células de carga – cadeira 1 – ensaio 6.4.4

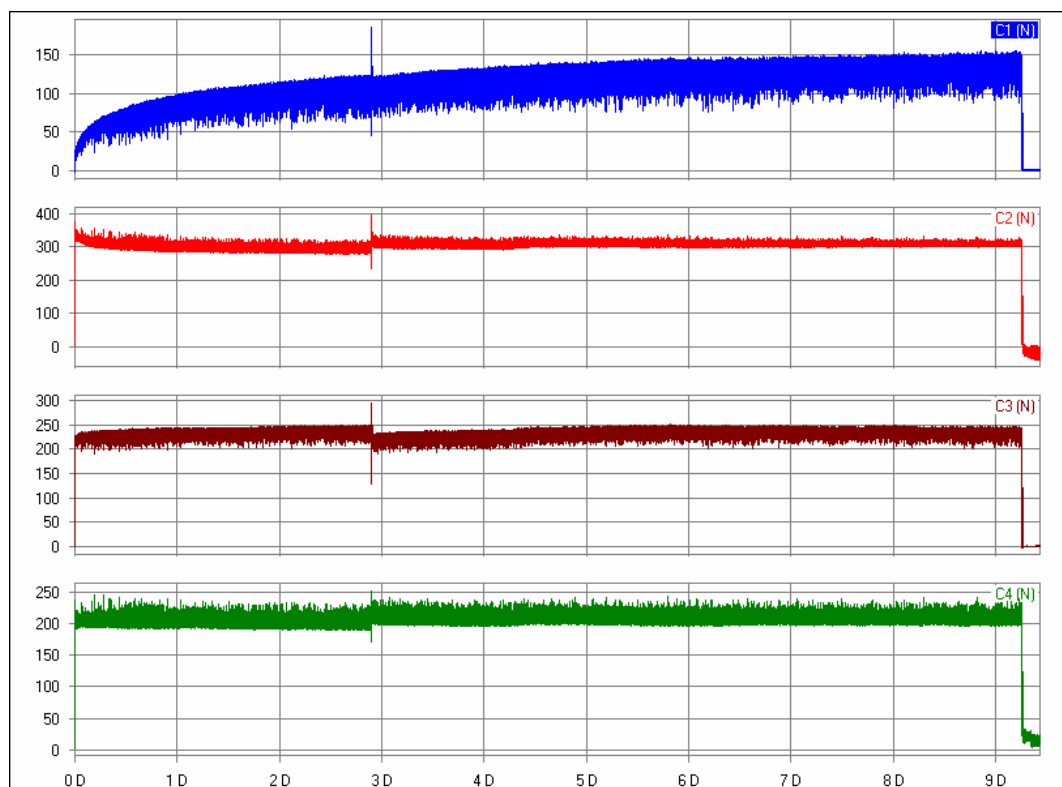


Figura 4.51 Gráfico carga x tempo: panorama geral. Células de carga – cadeira 2 – ensaio 6.4.4

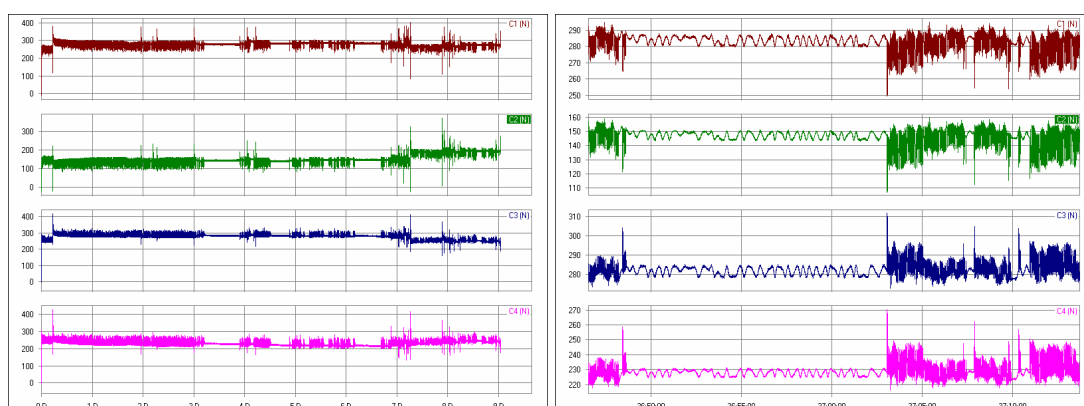


Figura 4.52 Gráfico carga x tempo: panorama geral e detalhe das falhas. Células de carga – cadeira 3 – ensaio 6.4.4

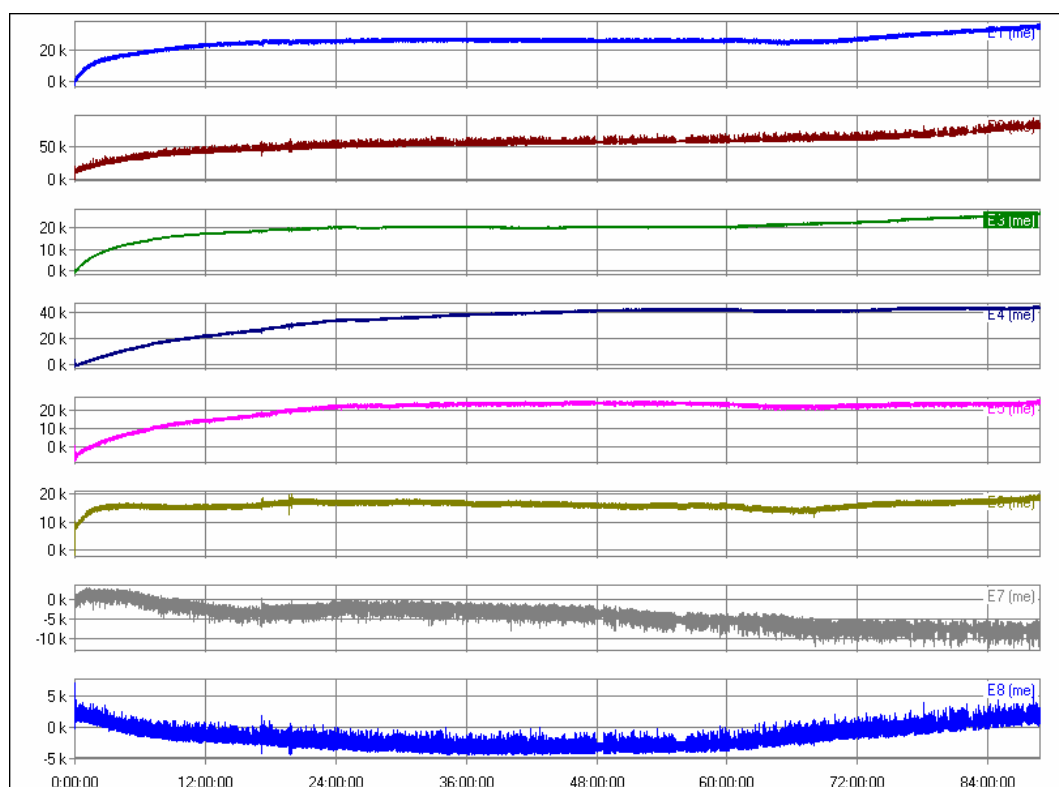


Figura 4.53 Gráfico deformação x tempo: detalhe do início do ensaio. Extensômetros – cadeira 1 – ensaio 6.4.4 ( $k=10^3$ )

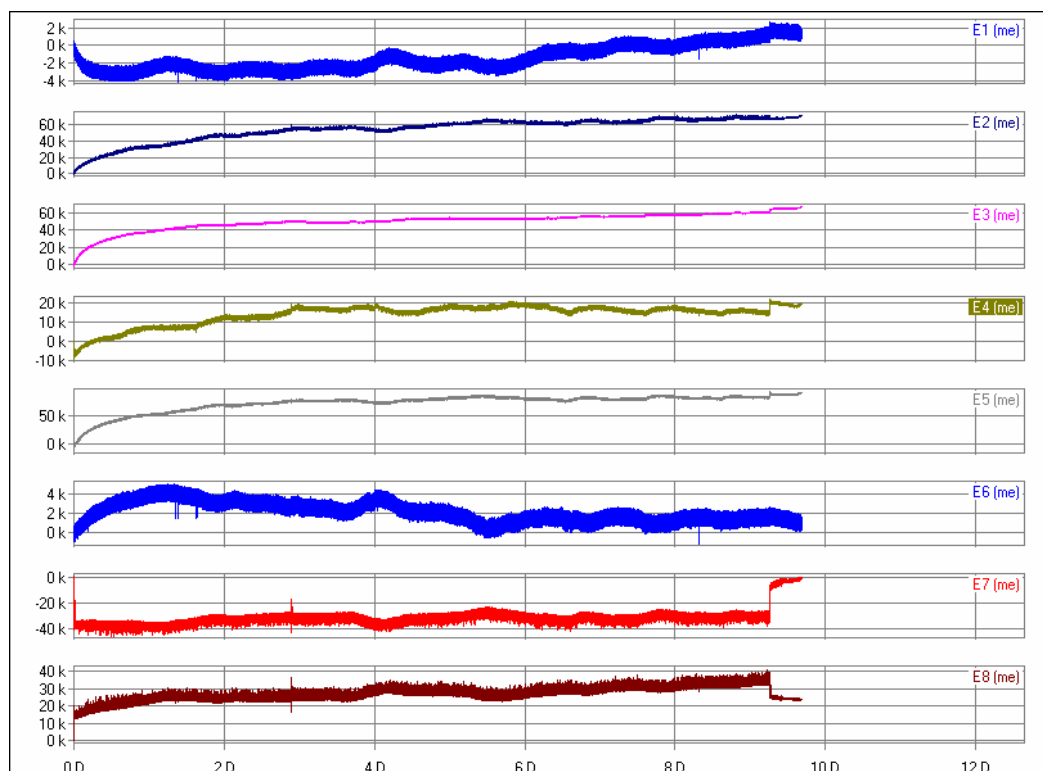


Figura 4.54 Gráfico deformação x tempo: panorama geral. Extensômetros – cadeira 2  
– ensaio 6.4.4 ( $k=10^3$ )

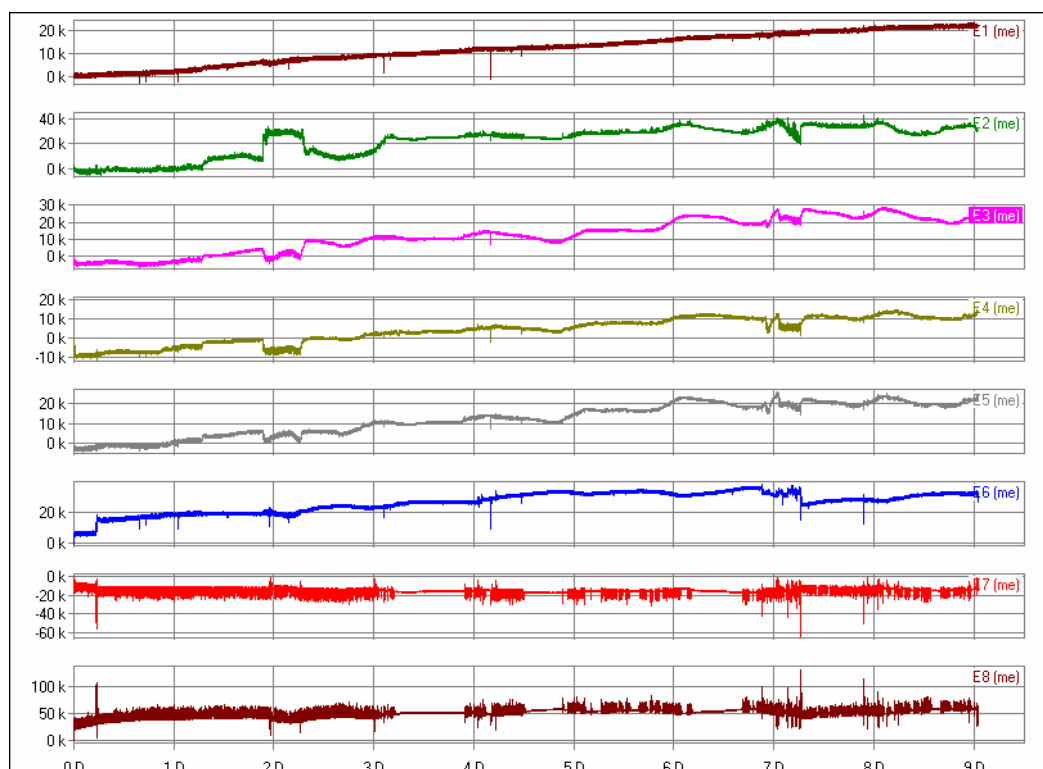


Figura 4.55 Gráfico deformação x tempo: panorama geral. Extensômetros – cadeira 3  
– ensaio 6.4.4 ( $k=10^3$ )

TABELA 4.32

Valores médios dos deslocamentos - DTs - Ensaio 6.4.4

<b>Cadeira 1 (espiga)</b>		<b>Cadeira 2 (cavilha)</b>		<b>Cadeira 3 (cavilha)</b>	
<b>DT</b>	<b>deslocamento (mm)</b>	<b>DT</b>	<b>deslocamento (mm)</b>	<b>DT</b>	<b>deslocamento (mm)</b>
DT1	0,04	DT1	-0,57	DT1	-1,35
DT2	1,89	DT2	-1,47	DT2	-
DT3	0,15	DT3	0,33	DT3	-

TABELA 4.33

Valores médios e total de carga - Células de carga - Ensaio 6.4.4

<b>Cadeira 1 (espiga)</b>		<b>Cadeira 2 (cavilha)</b>		<b>Cadeira 3 (cavilha)</b>	
<b>Célula de carga</b>	<b>carga (N)</b>	<b>Célula de carga</b>	<b>carga (N)</b>	<b>Célula de carga</b>	<b>carga (N)</b>
C1	199,90	C1	136,90	C1	275,80
C2	224,30	C2	305,45	C2	194,10
C3	307,85	C3	234,50	C3	248,45
C4	245,10	C4	205,80	C4	239,55
<b>Total</b>	<b>977,15</b>	<b>Total</b>	<b>882,65</b>	<b>Total</b>	<b>957,90</b>

TABELA 4.34

Valores médios da deformação e de tensão - Extensômetros - Ensaio 6.4.4

	<b>Cadeira 1 (espiga)</b>		<b>Cadeira 2 (cavilha)</b>		<b>Cadeira 3 (cavilha)</b>	
<b>Extensômetro</b>	<b>deformação (x10<sup>-6</sup>)</b>	<b>tensão (MPa)</b>	<b>deformação (x10<sup>-6</sup>)</b>	<b>tensão (MPa)</b>	<b>deformação (x10<sup>-6</sup>)</b>	<b>tensão (MPa)</b>
E1	57104,35	10,20	1339,65	0,24	21963,24	3,92
E2	117023,96	20,90	67598,05	12,07	33147,46	5,92
E3	32463,39	5,80	60269,49	10,76	20115,84	3,59
E4	79278,77	14,16	15243,46	2,72	10261,36	1,83
E5	41029,38	7,33	83819,06	14,97	19402,82	3,47
E6	24613,64	4,40	1773,19	0,32	31984,62	5,71
E7	-8131,55	-1,45	-28638,93	-5,11	-13768,18	-2,46
E8	-1376,53	-0,25	33967,87	6,07	58720,59	10,49

Os valores de tensão foram aumentando durante o ensaio. Houveram valores maiores do que a média, em particular, os extensômetros 1, 2 e 4 da cadeira 1; os extensômetros 2, 3 e 5 da cadeira 2 e o extensômetro 8 da cadeira 3.

Como o ensaio anterior, percebeu-se também que este ensaio é importante e bem representativo da realidade cotidiana do móvel escolar.

#### **4.4.1.5 Ensaio de resistência a esforços em uma perna frontal da cadeira (6.4.5)**

O ensaio de carga horizontal em uma perna frontal da cadeira consiste em aplicar uma carga de 450N, 50mm acima do ponto mais baixo da perna medida (parte 1). Depois esse mesmo valor de carga é aplicado lateralmente (parte 2). Não é determinado o tempo de aplicação de carga e esse foi estipulado em 10 segundos.

A média de duração desse ensaio foi de 25 segundos e em nenhuma cadeira houve dano aparente. Os gráficos (figuras 4.56 a 4.58) e tabela 4.35 apresentados a seguir visam ao entendimento do ocorrido no ensaio.

Vale destacar que esse ensaio foi retirado e não consta na NBR 14006/2008.

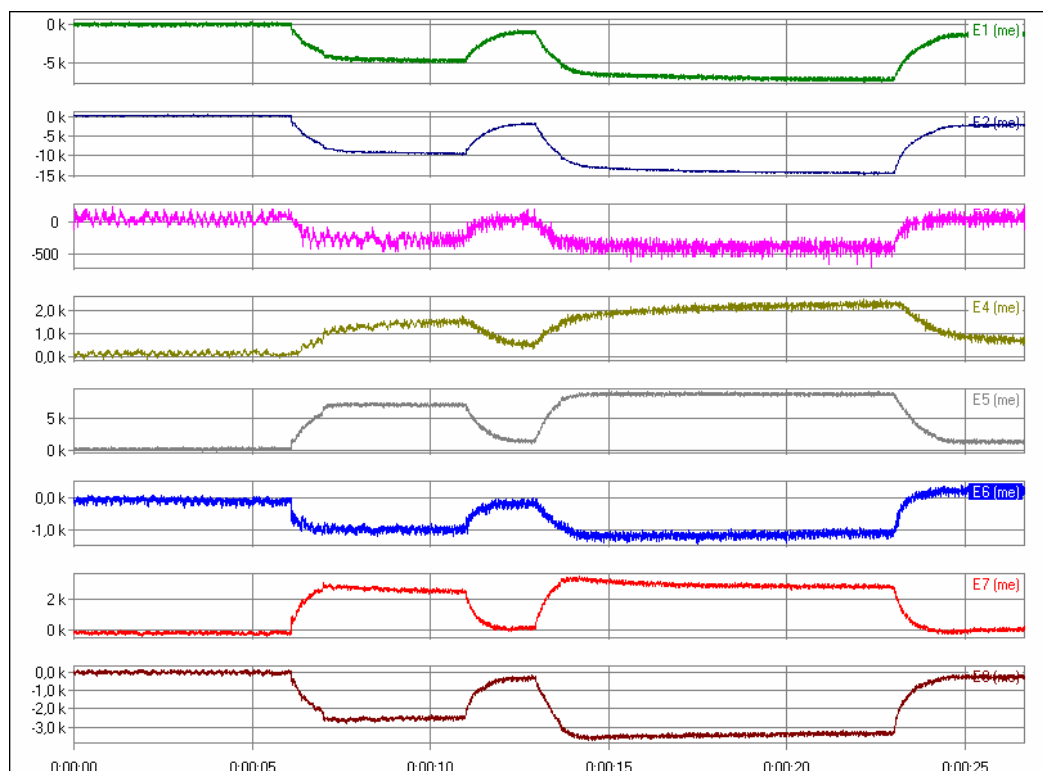


Figura 4.56 Gráfico deformação x tempo: panorama geral. Extensômetros – cadeira1  
– ensaio 6.4.5 parte 1 ( $k=10^3$ )

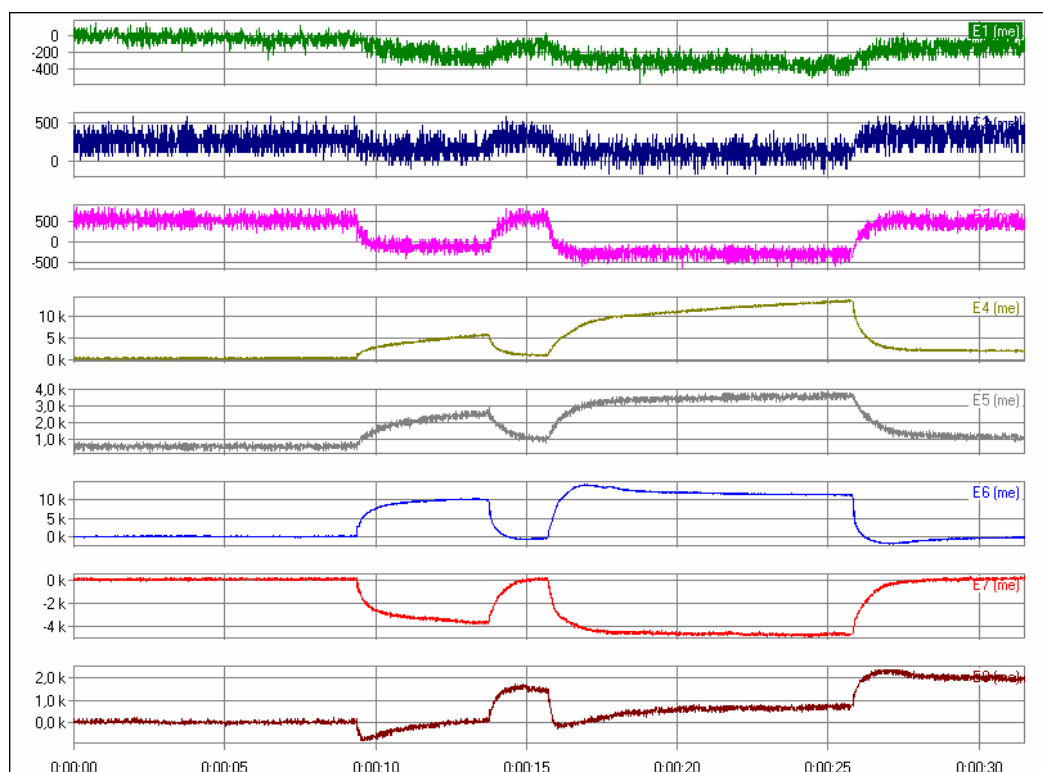


Figura 4.57 Gráfico deformação x tempo: panorama geral. Extensômetros – cadeira2  
– ensaio 6.4.5 parte 1 ( $k=10^3$ )

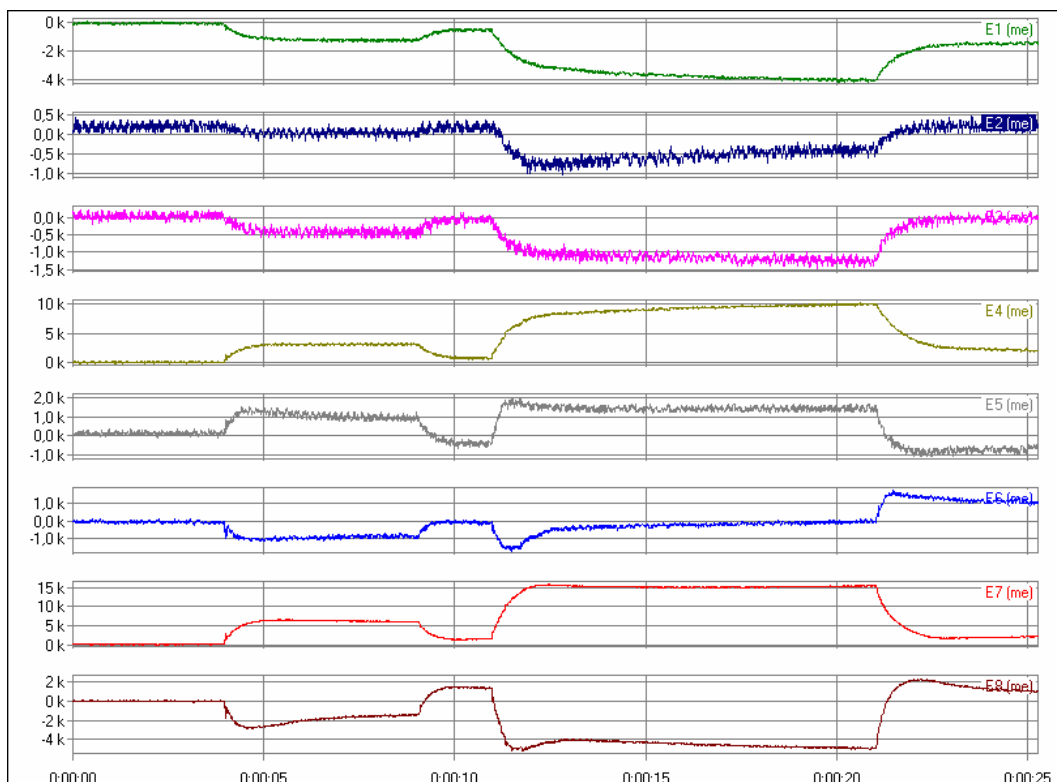


Figura 4.58 Gráfico deformação x tempo: panorama geral. Extensômetros – cadeira3 – ensaio 6.4.5 parte 2 ( $k=10^3$ )

TABELA 4.35

Valores médios da deformação e de tensão - Extensômetros - Ensaio 6.4.5 parte 1

Extensômetro	Cadeira 1 (espiga)		Cadeira 2 (cavilha)		Cadeira 3 (cavilha)	
	deformação ( $\times 10^{-6}$ )	tensão (MPa)	deformação ( $\times 10^{-6}$ )	tensão (MPa)	deformação ( $\times 10^{-6}$ )	tensão (MPa)
E1	-6611,21	-1,18	-344,93	-0,06	-839,26	-0,15
E2	-14304,26	-2,55	-126,14	-0,02	392,10	0,07
E3	-276,22	-0,05	-972,60	-0,17	-387,14	-0,07
E4	1939,87	0,35	11635,31	2,08	14489,40	2,59
E5	8701,27	1,55	2858,71	0,51	2132,43	0,38
E6	-1014,87	-0,18	11812,72	2,11	44228,93	7,90
E7	3212,37	0,57	-4679,28	-0,84	1307,49	0,23
E8	-3335,66	-0,60	584,36	0,10	367,85	0,07

Durante os 10 segundos de aplicação de carga, os valores lidos nos extensômetros se mantiveram praticamente constantes e baixos.

#### **4.4.1.6 Ensaio de impacto no assento da cadeira (6.4.6)**

O ensaio de carga de impacto no assento consiste em sujeitar essa parte a cargas que simulem o ato de pessoas se jogar ao assentar em cadeiras, utilizando a almofada de impacto cujo peso é de 250 N. Essa almofada era elevada por um sistema de cordas e roldanas, até a altura de 190mm para então colidir (cair livremente) no assento. Essa operação foi repetida por 10 vezes e, após cada aplicação de carga, dava-se uma pausa para verificação visual das peças que estavam submetidas à ação.

O valor adotado na altura (190mm) era o valor de ensaio para faixa severa. A NBR 14006/2008 adota por sua vez o valor de 135mm, antiga faixa normal de ensaio.

Com a cadeira 1, o ensaio durou 10 minutos e 10 segundos, incluindo nesse o tempo de posicionamento da almofada de impacto e verificação da cadeira. Não houve dano aparente.

Já o tempo de ensaio das cadeiras 2 e 3 foi de 4 minutos e 8 segundos e 1 minuto e 17 segundos, respectivamente, e também não houve dano aparente.

Novamente, apresentam-se os gráficos (figuras 4.59 a 4.64) e tabelas (4.36 e 4.37) das células de carga e extensômetros que apresentam o comportamento estrutural da cadeira ao longo do ensaio.

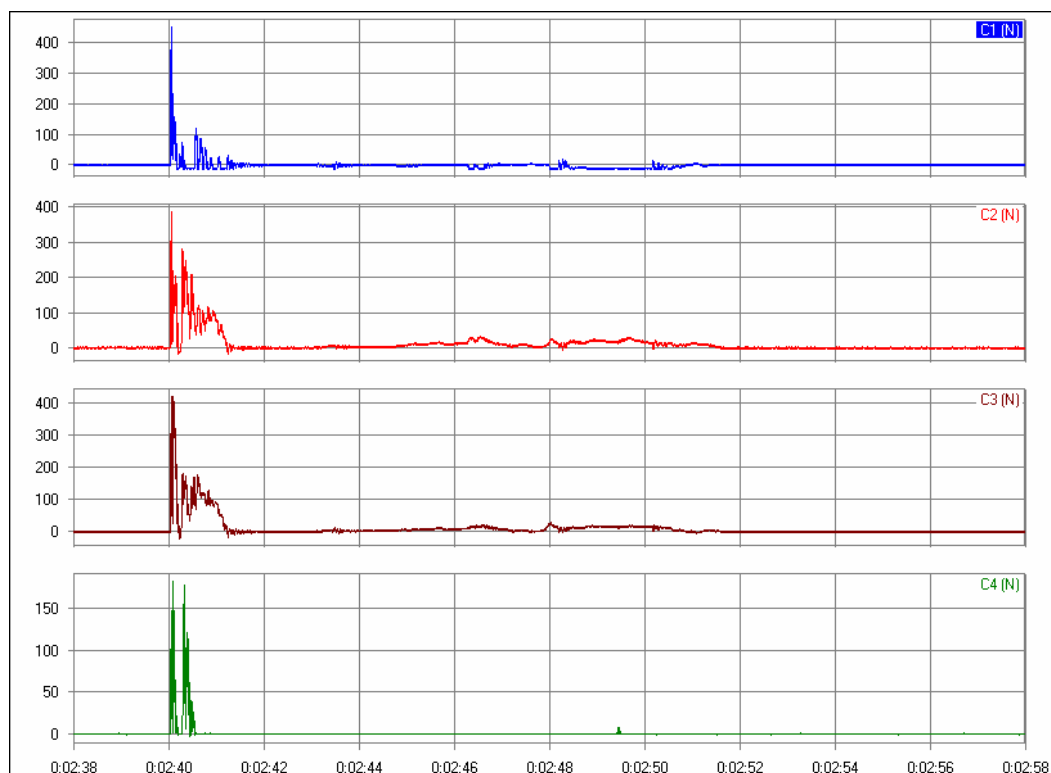


Figura 4.59 Gráfico carga x tempo: 4º impacto. Células de carga – cadeira 1 – ensaio

6.4.6

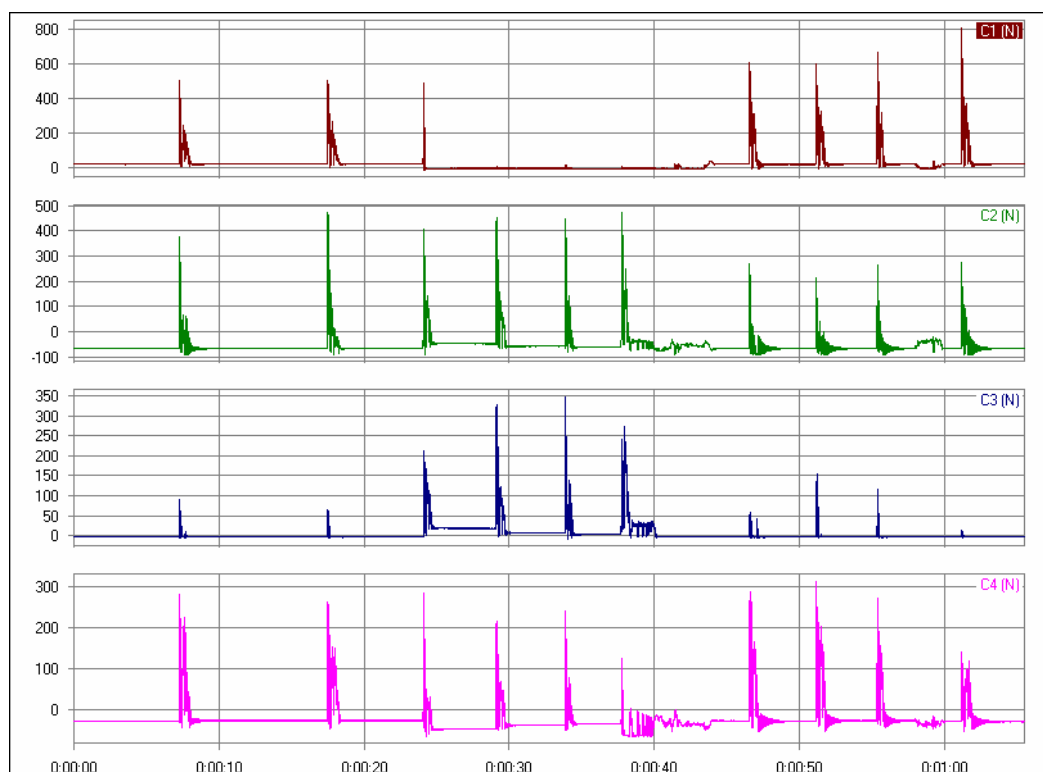


Figura 4.60 Gráfico carga x tempo: panorama geral. Células de carga – cadeira 2 – ensaio 6.4.6

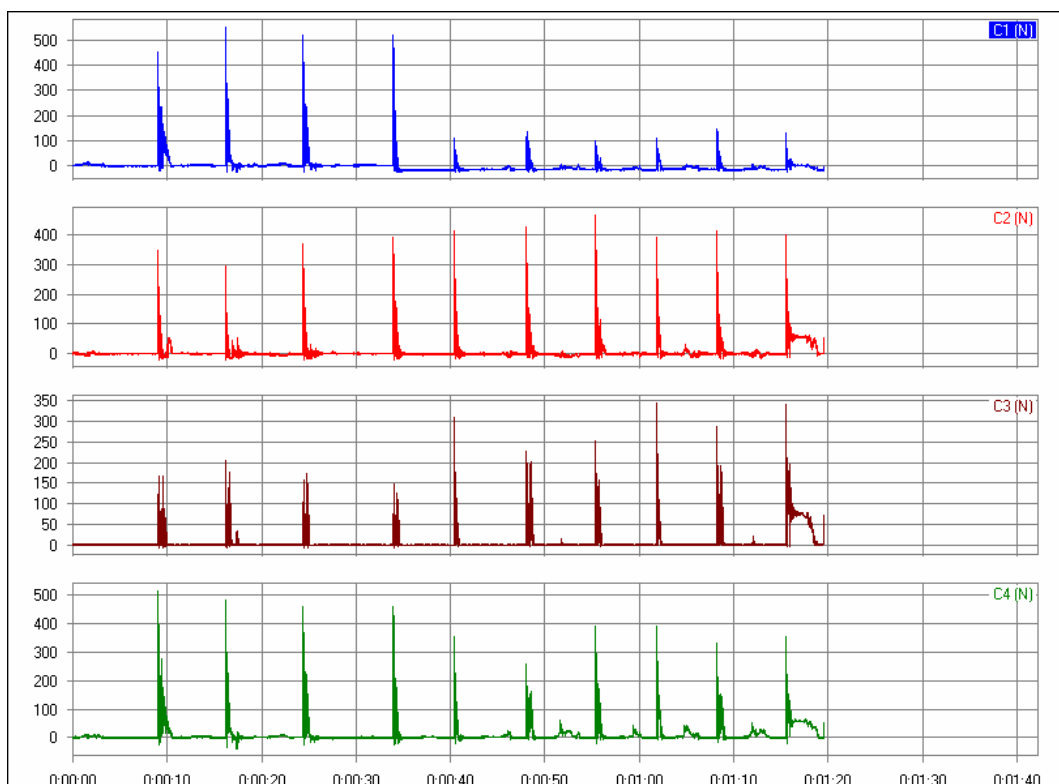


Figura 4.61 Gráfico carga x tempo. Células de carga – cadeira 3 – ensaio 6.4.6

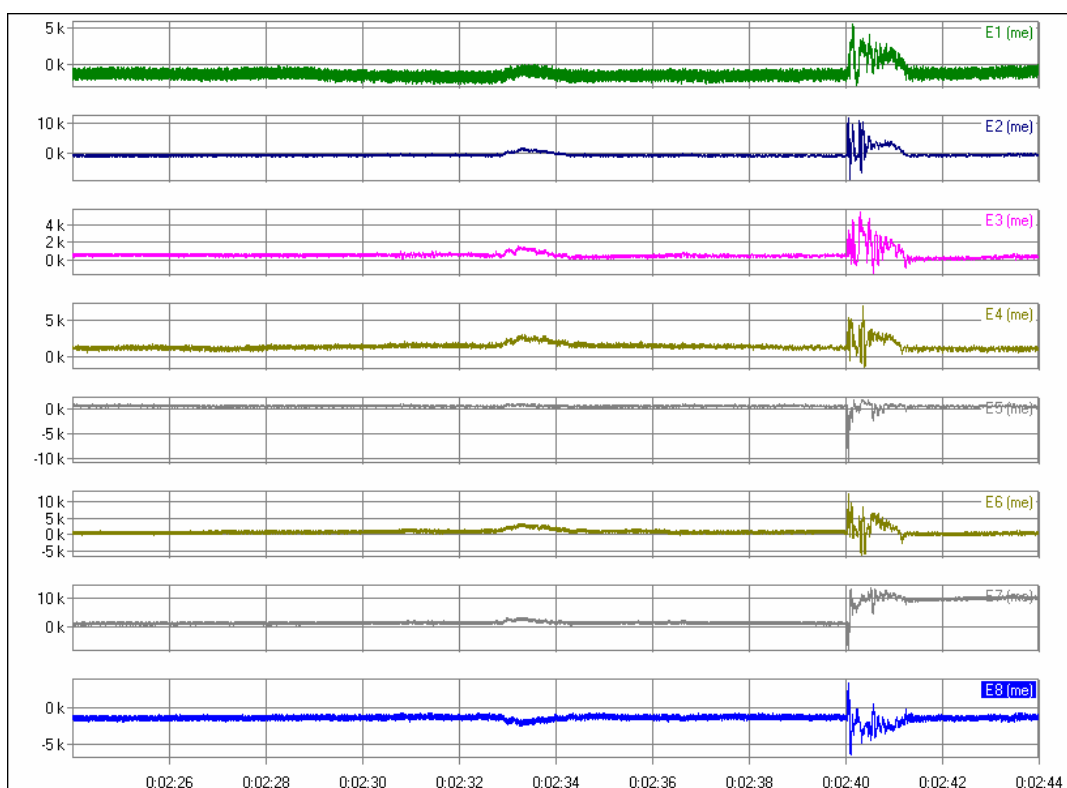


Figura 4.62 Gráfico deformação x tempo: 4º impacto. Extensômetros – cadeira 1 – ensaio 6.4.6 ( $k=10^3$ )

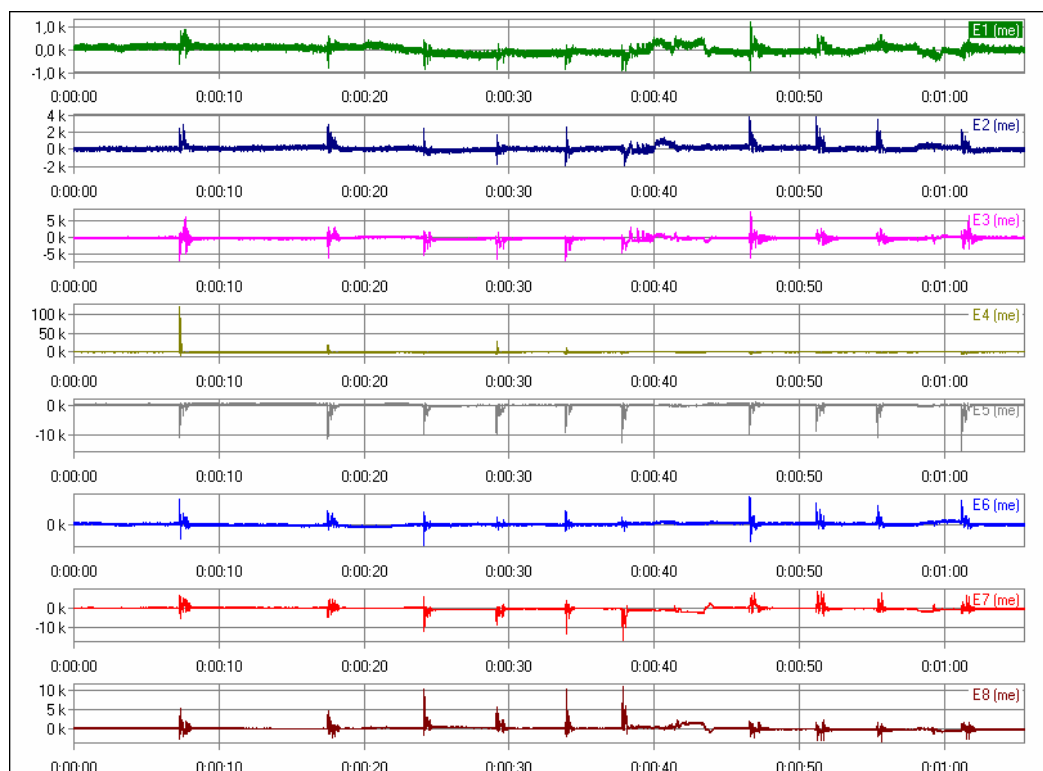


Figura 4.63 Gráfico deformação x tempo: panorama geral. Extensômetros – cadeira 2  
– ensaio 6.4.6 ( $k=10^3$ )

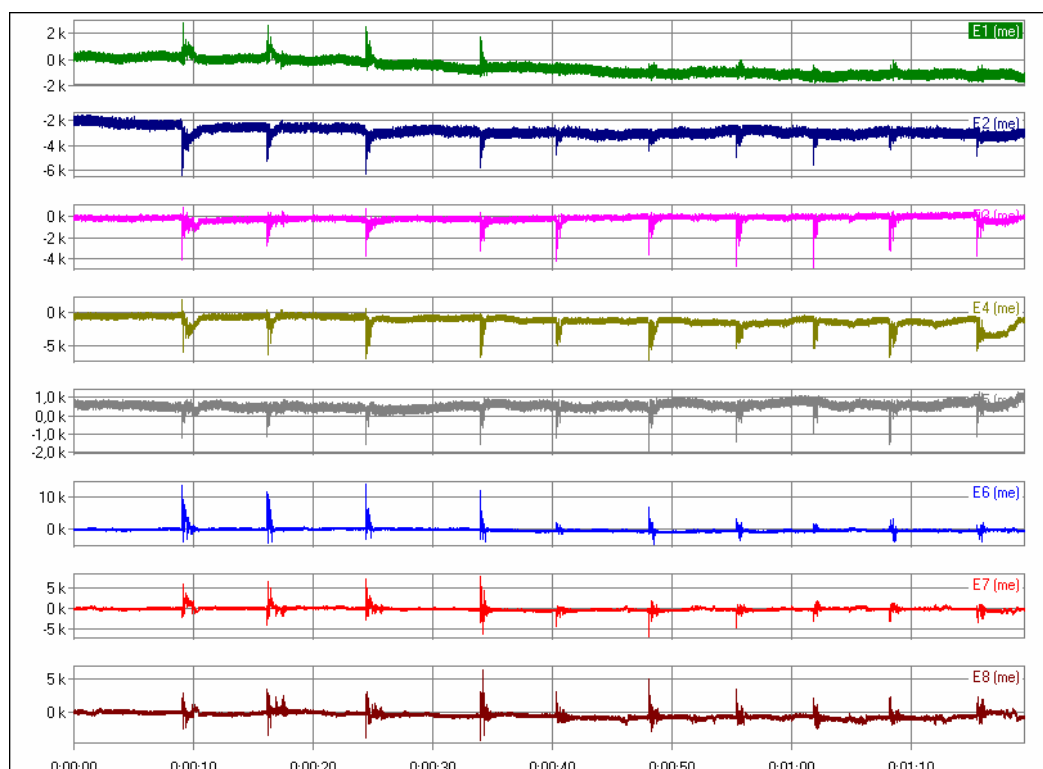


Figura 4.64 Gráfico deformação x tempo. Extensômetros – cadeira 3 – ensaio 6.4.6  
( $k=10^3$ )

TABELA 4.36  
Valores parciais e somatório total de carga no impacto - Células de carga - Ensaio 6.4.6

<b>Cadeira 1 (espiga)</b>	<b>1º</b>	<b>2º</b>	<b>3º</b>	<b>4º</b>	<b>5º</b>	<b>6º</b>	<b>7º</b>	<b>8º</b>	<b>9º</b>	<b>10º</b>
	<b>impacto</b>	<b>impacto</b>	<b>impacto</b>	<b>impacto</b>	<b>impacto</b>	<b>impacto</b>	<b>impacto</b>	<b>impacto</b>	<b>impacto</b>	<b>impacto</b>
<b>Célula de carga</b>	<b>carga</b>	<b>carga</b>	<b>carga</b>	<b>carga</b>	<b>carga</b>	<b>carga</b>	<b>carga</b>	<b>carga</b>	<b>carga</b>	<b>carga</b>
	<b>(N)</b>	<b>(N)</b>	<b>(N)</b>	<b>(N)</b>	<b>(N)</b>	<b>(N)</b>	<b>(N)</b>	<b>(N)</b>	<b>(N)</b>	<b>(N)</b>
C1	208,37	382,71	281,90	364,62	287,36	450,35	267,68	328,72	346,52	362,32
C2	497,83	228,13	388,30	347,73	243,02	380,22	372,41	313,68	352,13	311,55
C3	322,27	451,49	400,65	395,11	507,44	390,45	377,19	413,18	427,31	412,45
C4	321,22	71,07	262,28	144,25	202,62	139,83	222,84	182,69	213,59	120,61
<b>Total</b>	<b>1349,70</b>	<b>1133,40</b>	<b>1333,13</b>	<b>1251,71</b>	<b>1240,44</b>	<b>1360,85</b>	<b>1240,13</b>	<b>1238,26</b>	<b>1339,54</b>	<b>1206,93</b>

<b>Cadeira 2 (cavilha)</b>	<b>1º</b>	<b>2º</b>	<b>3º</b>	<b>4º</b>	<b>5º</b>	<b>6º</b>	<b>7º</b>	<b>8º</b>	<b>9º</b>	<b>10º</b>
	<b>impacto</b>	<b>impacto</b>	<b>impacto</b>	<b>impacto</b>	<b>impacto</b>	<b>impacto</b>	<b>impacto</b>	<b>impacto</b>	<b>impacto</b>	<b>impacto</b>
C1	508,51	499,75	486,10	-1,59	6,31	11,19	610,32	599,41	669,92	792,56
C2	375,11	475,99	408,03	452,43	448,75	473,29	267,72	214,09	267,01	277,22
C3	90,02	63,79	111,14	326,61	347,88	240,51	50,68	127,17	92,35	10,76
C4	281,06	262,12	282,05	214,42	239,34	124,44	262,12	290,31	263,83	135,69
<b>Total</b>	<b>1254,69</b>	<b>1301,65</b>	<b>1287,33</b>	<b>991,88</b>	<b>1042,28</b>	<b>849,44</b>	<b>1190,84</b>	<b>1230,98</b>	<b>1293,11</b>	<b>1216,24</b>

<b>Cadeira 3 (cavilha)</b>	<b>1º</b>	<b>2º</b>	<b>3º</b>	<b>4º</b>	<b>5º</b>	<b>6º</b>	<b>7º</b>	<b>8º</b>	<b>9º</b>	<b>10º</b>
	<b>impacto</b>	<b>impacto</b>	<b>impacto</b>	<b>impacto</b>	<b>impacto</b>	<b>impacto</b>	<b>impacto</b>	<b>impacto</b>	<b>impacto</b>	<b>impacto</b>
C1	454,65	554,46	518,56	518,56	107,55	137,57	99,94	107,99	143,60	130,10
C2	348,14	295,93	369,28	390,13	411,70	228,11	463,34	391,98	412,83	399,64
C3	122,10	151,24	104,91	76,80	302,32	197,86	247,39	345,59	288,48	341,94
C4	511,56	480,95	458,88	459,87	352,80	139,66	391,10	391,96	332,02	355,94
<b>Total</b>	<b>1436,46</b>	<b>1482,58</b>	<b>1451,63</b>	<b>1445,36</b>	<b>1174,38</b>	<b>703,21</b>	<b>1201,78</b>	<b>1237,51</b>	<b>1176,93</b>	<b>1227,62</b>

TABELA 4.37  
Valores da deformação e de tensão no impacto - Extensômetros - Ensaio 6.4.6

<b>Cadeira 1 (espiga)</b>	<b>1º impacto</b>		<b>2º impacto</b>		<b>3º impacto</b>		<b>4º impacto</b>		<b>5º impacto</b>	
<b>Extensômetro</b>	<b>deformação (x10<sup>-6</sup>)</b>	<b>tensão (MPa)</b>	<b>deformação (x10<sup>-6</sup>)</b>	<b>tensão (MPa)</b>	<b>deformação (x10<sup>-6</sup>)</b>	<b>tensão (MPa)</b>	<b>deformação (x10<sup>-6</sup>)</b>	<b>tensão (MPa)</b>	<b>deformação (x10<sup>-6</sup>)</b>	<b>tensão (MPa)</b>
E1	2209,00	0,39	943,84	0,17	2264,00	0,40	1493,91	0,27	2704,06	0,48
E2	11242,76	2,01	11242,76	2,01	3681,84	0,66	8002,36	1,43	351,43	0,06
E3	4089,83	0,73	4089,83	0,73	2755,32	0,49	1248,61	0,22	1377,76	0,25
E4	2807,00	0,50	2807,00	0,50	4127,16	0,74	7262,55	1,30	6602,47	1,18
E5	-3259,73	-0,58	-3259,73	-0,58	-5472,94	-0,98	-7686,15	-1,37	-6987,24	-1,25
E6	-1688,77	-0,30	-1688,77	-0,30	3880,66	0,69	16257,16	2,90	14524,45	2,59
E7	-218,74	-0,04	-218,74	-0,04	-1165,81	-0,21	-4867,99	-0,87	685,29	0,12
E8	-1230,76	-0,22	-1230,76	-0,22	-676,29	-0,12	1937,63	0,35	-993,13	-0,18

<b>Cadeira 1 (espiga)</b>	<b>6º impacto</b>		<b>7º impacto</b>		<b>8º impacto</b>		<b>9º impacto</b>		<b>10º impacto</b>	
E1	833,83	0,15	448,78	0,08	1768,94	0,32	1933,96	0,35	1493,91	0,27
E2	11782,82	2,10	4491,94	0,80	4131,89	0,74	3051,76	0,55	4041,88	0,72
E3	3013,61	0,54	3271,90	0,58	2066,54	0,37	2195,69	0,39	1808,25	0,32
E4	4457,20	0,80	2476,96	0,44	4787,24	0,85	6107,41	1,09	8005,14	1,43
E5	-10481,78	-1,87	-5356,45	-0,96	-7220,21	-1,29	-6637,79	-1,19	-6637,79	-1,19
E6	10728,99	1,92	4045,68	0,72	10398,95	1,86	12667,98	2,26	18484,93	3,30
E7	-7450,92	-1,33	6712,10	1,20	6367,72	1,14	7745,27	1,38	7443,93	1,33
E8	3482,21	0,62	-1507,99	-0,27	234,62	0,04	36,59	0,01	-82,22	-0,01

<b>Cadeira 2 (cavilha)</b>	<b>1º impacto</b>		<b>2º impacto</b>		<b>3º impacto</b>		<b>4º impacto</b>		<b>5º impacto</b>	
<b>Extensômetro</b>	<b>deformação (x10<sup>-6</sup>)</b>	<b>tensão (MPa)</b>	<b>deformação (x10<sup>-6</sup>)</b>	<b>tensão (MPa)</b>	<b>deformação (x10<sup>-6</sup>)</b>	<b>tensão (MPa)</b>	<b>deformação (x10<sup>-6</sup>)</b>	<b>tensão (MPa)</b>	<b>deformação (x10<sup>-6</sup>)</b>	<b>tensão (MPa)</b>
E1	-97,02	-0,02	-451,85	-0,08	-226,05	-0,04	-387,34	-0,07	-258,31	-0,05
E2	2533,17	0,45	2399,83	0,43	2399,83	0,43	-400,17	-0,07	-1400,17	-0,25
E3	-800,17	-0,14	-2666,83	-0,48	-400,17	-0,07	-2933,50	-0,52	-2200,17	-0,39
E4	95875,00	17,12	19625,00	3,50	-750,00	-0,13	-3625,00	-0,65	-3687,50	-0,66
E5	-10368,42	-1,85	-11210,53	-2,00	-9684,21	-1,73	-9421,06	-1,68	-9000,00	-1,61
E6	1861,97	0,33	2172,31	0,39	1551,62	0,28	-0,10	0,00	-586,31	-0,10
E7	-2069,10	-0,37	-4034,62	-0,72	-1551,86	-0,28	-7276,00	-1,30	-2655,31	-0,47
E8	1939,40	0,35	3636,37	0,65	1878,79	0,34	4242,43	0,76	1484,85	0,27

<b>Cadeira 2 (cavilha)</b>	<b>6º impacto</b>		<b>7º impacto</b>		<b>8º impacto</b>		<b>9º impacto</b>		<b>10º impacto</b>	
E1	-258,31	-0,05	-193,79	-0,03	-193,79	-0,03	128,79	0,02	-0,24	0,00
E2	-66,83	-0,01	3866,50	0,69	3866,50	0,69	3466,50	0,62	2266,50	0,40
E3	-1666,83	-0,30	-800,17	-0,14	-66,83	-0,01	333,17	0,06	1733,17	0,31
E4	-4375,00	-0,78	312,50	0,06	312,50	0,06	-312,50	-0,06	-4250,00	-0,76
E5	-12684,21	-2,27	-9105,27	-1,63	-8894,74	-1,59	-10789,48	-1,93	-15210,53	-2,72
E6	310,24	0,06	4344,72	0,78	3275,76	0,59	2861,97	0,51	3448,17	0,62
E7	-5689,79	-1,02	-448,41	-0,08	-1207,03	-0,22	-1551,86	-0,28	-2586,35	-0,46
E8	3636,37	0,65	1333,34	0,24	1393,95	0,25	1242,43	0,22	1212,13	0,22

<b>Cadeira 3 (cavilha)</b>	<b>1º impacto</b>		<b>2º impacto</b>		<b>3º impacto</b>		<b>4º impacto</b>		<b>5º impacto</b>	
<b>Extensômetro</b>	<b>deformação (x10<sup>-6</sup>)</b>	<b>tensão (MPa)</b>	<b>deformação (x10<sup>-6</sup>)</b>	<b>tensão (MPa)</b>	<b>deformação (x10<sup>-6</sup>)</b>	<b>tensão (MPa)</b>	<b>deformação (x10<sup>-6</sup>)</b>	<b>tensão (MPa)</b>	<b>deformação (x10<sup>-6</sup>)</b>	<b>tensão (MPa)</b>
E1	785,64	0,14	1035,64	0,18	321,36	0,06	107,07	0,02	-714,36	-0,13
E2	-5857,36	-1,05	-5214,50	-0,93	-5785,93	-1,03	-5071,64	-0,91	-4714,50	-0,84
E3	-3666,67	-0,65	-2777,78	-0,50	-3666,67	-0,65	-3222,22	-0,58	-3944,44	-0,70
E4	1500,17	0,27	166,83	0,03	83,50	0,01	-2083,17	-0,37	-4333,17	-0,77
E5	-904,71	-0,16	-904,71	-0,16	-1428,52	-0,26	-1571,38	-0,28	-1190,43	-0,21
E6	13884,65	2,48	11653,88	2,08	14153,88	2,53	12076,96	2,16	1384,65	0,25
E7	-1444,61	-0,26	444,28	0,08	-2629,80	-0,47	-3333,50	-0,60	-4000,17	-0,71
E8	2142,72	0,38	35,57	0,01	2499,86	0,45	2964,14	0,53	2642,72	0,47

<b>Cadeira 3 (cavilha)</b>	<b>6º impacto</b>		<b>7º impacto</b>		<b>8º impacto</b>		<b>9º impacto</b>		<b>10º impacto</b>	
E1	-678,64	-0,12	-500,07	-0,09	-1285,79	-0,23	-964,36	-0,17	-1142,93	-0,20
E2	-3857,36	-0,69	-4928,79	-0,88	-5500,21	-0,98	-4143,07	-0,74	-4785,93	-0,85
E3	-1611,11	-0,29	-4111,11	-0,73	-4666,67	-0,83	-3166,67	-0,57	-3388,89	-0,61
E4	-6249,83	-1,12	-5333,17	-0,95	-5166,50	-0,92	-6666,50	-1,19	-5833,17	-1,04
E5	-523,76	-0,09	-1142,81	-0,20	-809,48	-0,14	-1476,14	-0,26	-904,71	-0,16
E6	-192,27	-0,03	1000,04	0,18	576,96	0,10	730,81	0,13	-76,88	-0,01
E7	-222,39	-0,04	-4222,39	-0,75	-3111,28	-0,56	-3074,24	-0,55	-2259,43	-0,40
E8	-393,00	-0,07	2964,14	0,53	1892,72	0,34	1964,14	0,35	1214,14	0,22

A variação dos valores lidos em cada célula de carga se dá em função do desnivelamento dos pés do móvel, apesar de todos os protótipos terem sido avaliados antes do início de todos os ensaios e estarem conforme.<sup>6</sup> O valor médio da somatória de cargas aplicadas foi de 1230N, o que equivale a uma carga final de quatro vezes maior que a inicial.

As leituras dos extensômetros se mantiveram constantes, com exceção do número 4 da cadeira 2, que registrou um único grande pico de leitura no primeiro impacto, mas depois desse valor este se estabilizou e continuou registrando os valores de deformação. Esse fato deve ter ocorrido em função de um possível movimento da almofada de carregamento e conseqüente alteração do local de aplicação de carga, o que acarretou que esta tenha colidido mais para frente do assento, próximo à trava frontal.

Como a tensão se manteve praticamente inalterada durante todas as aplicações, coloca-se mais uma vez em discussão a real necessidade da repetição por 10 vezes da aplicação de carga. Mesmo assim, é um ensaio importante para o entendimento do comportamento do móvel quando submetido às ações de impacto.

#### **4.4.1.7 Ensaio de impacto no encosto da cadeira (6.4.7)**

O ensaio de carga de impacto no encosto da cadeira consiste em sujeitar o centro do topo da superfície frontal do encosto a cargas que simulem o esforço proveniente do tombamento para trás de cadeiras, utilizando o pêndulo de impacto. Esse pêndulo é, na verdade, uma peça composta de madeira, de peso total 65N, posicionado de maneira que saia da altura de queda igual a 463mm e colida horizontalmente no encosto por 10 vezes.

Para a cadeira 1, o ensaio teve a duração de 7 minutos e 10 segundos, incluindo neste o tempo de posicionamento do pêndulo de impacto (avaliação da altura) e verificação da cadeira. Não houve dano aparente.

---

<sup>6</sup> Segundo a NBR 14006/2003 (pg 7), “os pés da mesa e da cadeira, quando carregados com uma massa de 300 N, devem estar perfeitamente apoiados em uma superfície plana e não apresentar desnivelamento”.

O ensaio durou 2 minutos e 46 segundos para a cadeira 2 e houve a ruptura da ligação da trava posterior do assento com o pé esquerdo a partir do 9º impacto. Mesmo assim, continuou-se o ensaio até sua finalização no décimo impacto.

O tempo total de ensaio para a cadeira 3 foi de 3 minutos e 15 segundos. Ocorreram dois impactos a mais durante esse ensaio: o primeiro foi em função de uma queda da cadeira e o outro em função de um impacto a mais, dados ignorados da planilha. Houve a ruptura da ligação entre a perna frontal direita e a trava do assento, a partir do quarto impacto.

O comportamento de cada equipamento de leitura durante todo o ensaio é apresentado nas figuras 4.65 a 4.67 e tabela 4.38.

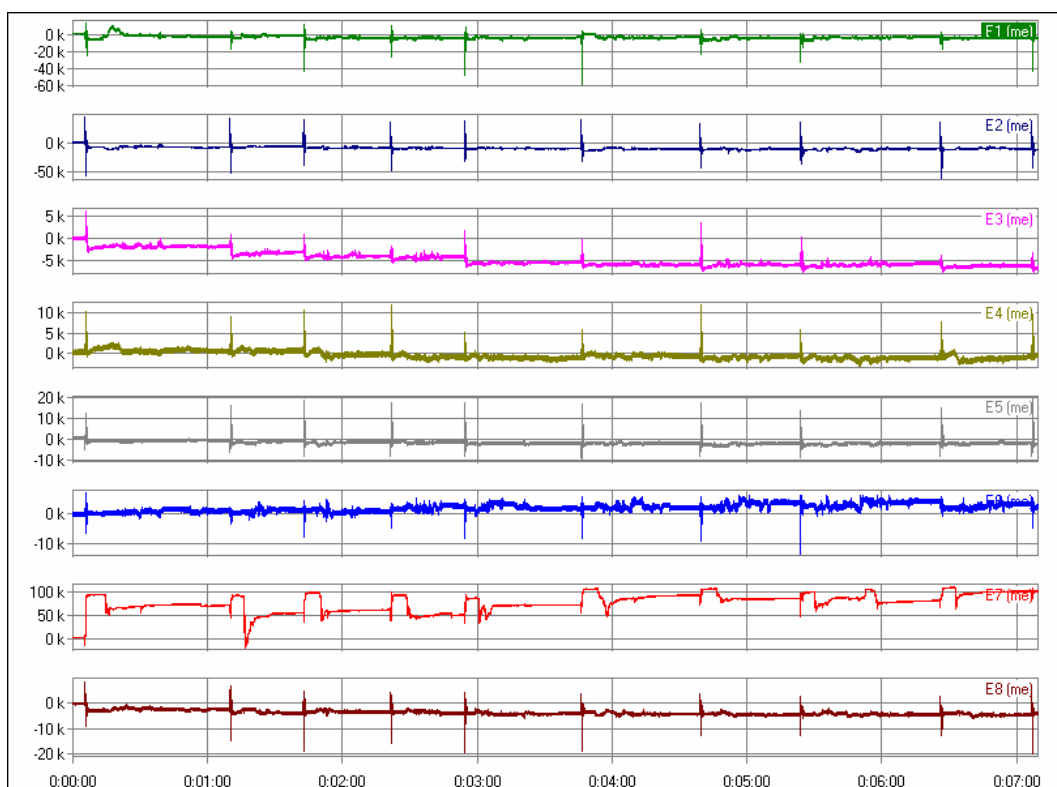


Figura 4.65 Gráfico deformação x tempo: panorama geral. Extensômetros – cadeira 1 – ensaio 6.4.7 ( $k=10^3$ )

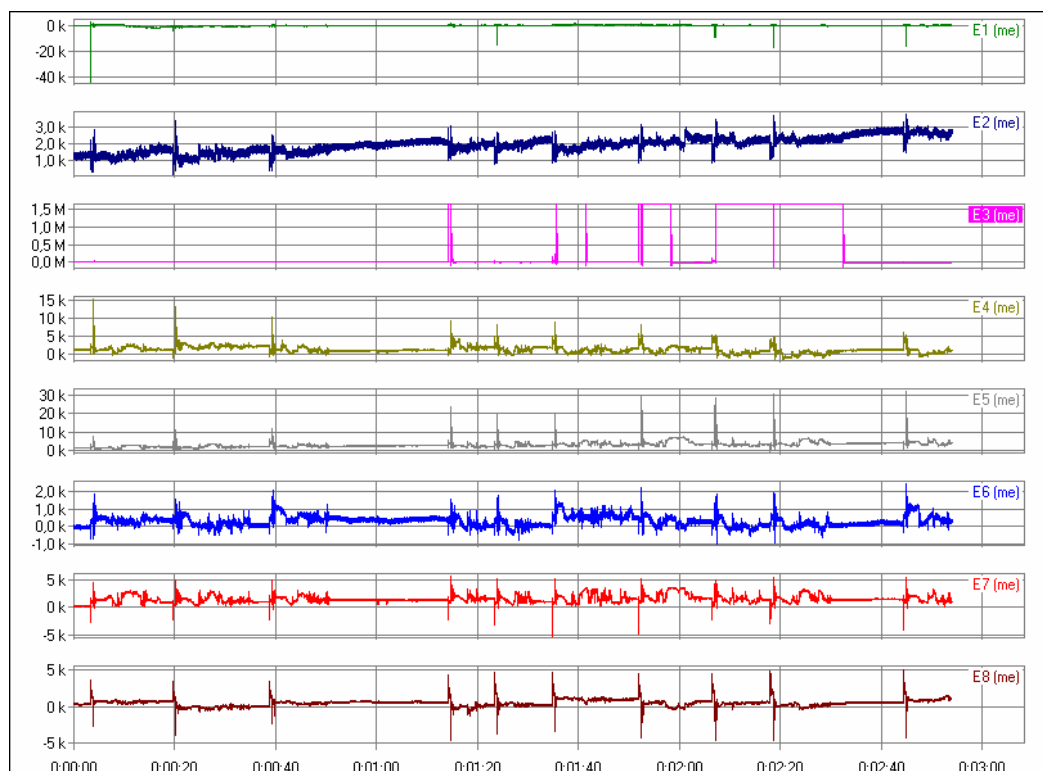


Figura 4.66 Gráfico deformação x tempo. Extensômetros – cadeira 2 – ensaio 6.4.7  
( $k=10^3$ )

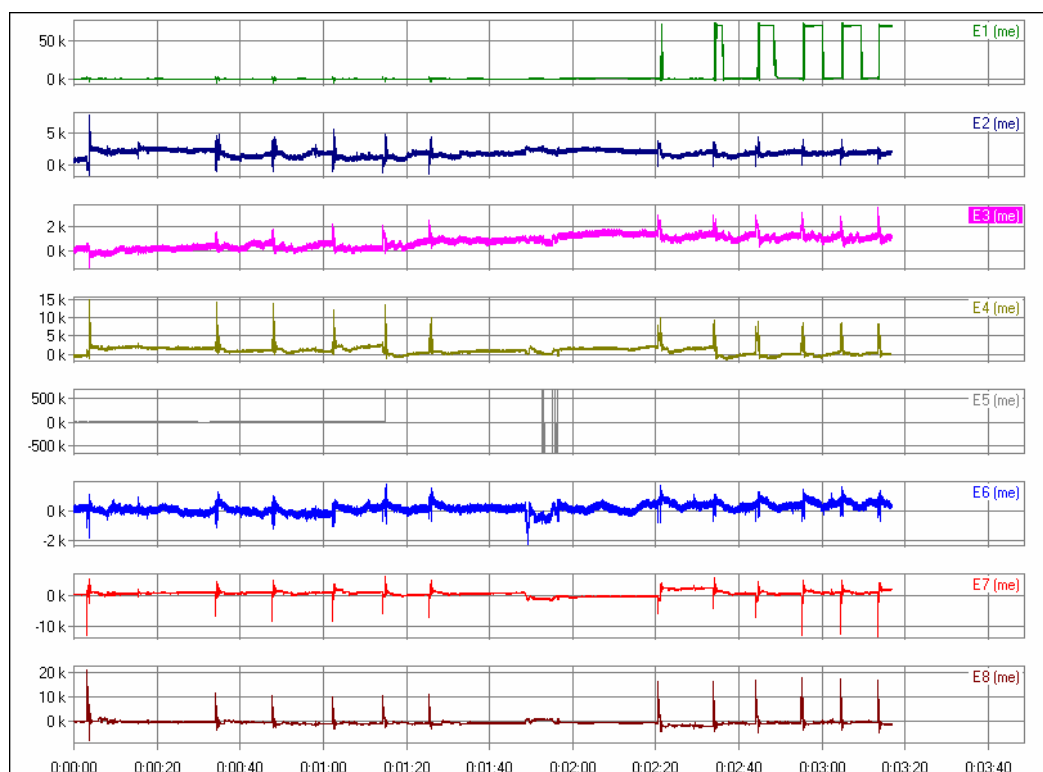


Figura 4.67 Gráfico deformação x tempo. Extensômetros – cadeira 3 – ensaio 6.4.7  
( $k=10^3$ )

TABELA 4.38

Valores médios da deformação e de tensão - Extensômetros - Ensaio 6.4.7

<b>Cadeira 1 (espiga)</b>	<b>1º impacto</b>		<b>2º impacto</b>		<b>3º impacto</b>		<b>4º impacto</b>		<b>5º impacto</b>	
<b>Extensômetro</b>	<b>deformação (x10<sup>-6</sup>)</b>	<b>tensão (MPa)</b>	<b>deformação (x10<sup>-6</sup>)</b>	<b>tensão (MPa)</b>	<b>deformação (x10<sup>-6</sup>)</b>	<b>tensão (MPa)</b>	<b>deformação (x10<sup>-6</sup>)</b>	<b>tensão (MPa)</b>	<b>deformação (x10<sup>-6</sup>)</b>	<b>tensão (MPa)</b>
E1	12435,83	2,22	3414,74	0,61	10895,64	1,95	10510,60	1,88	8200,32	1,46
E2	-2340,84	-0,42	-17102,63	-3,05	-2340,84	-0,42	-1170,70	-0,21	-5401,21	-0,96
E3	5029,59	0,90	-2374,79	-0,42	-2331,74	-0,42	-2719,18	-0,49	5029,59	0,90
E4	9406,61	1,68	1733,17	0,31	1403,13	0,25	2145,72	0,38	9406,61	1,68
E5	6234,11	1,11	176,91	0,03	-405,51	-0,07	526,36	0,09	6234,11	1,11
E6	-1530,44	-0,27	284,79	0,05	-3964,48	-0,71	-2891,85	-0,52	-1530,44	-0,27
E7	61857,88	11,05	85965,15	15,35	79034,31	14,11	77140,16	13,78	61857,88	11,05
E8	-156,81	-0,03	714,50	0,13	714,50	0,13	3011,58	0,54	-156,81	-0,03

<b>Cadeira 1 (espiga)</b>	<b>6º impacto</b>		<b>7º impacto</b>		<b>8º impacto</b>		<b>9º impacto</b>		<b>10º impacto</b>	
E1	3414,74	0,61	5504,99	0,98	719,41	0,13	2754,66	0,49	9575,48	1,71
E2	-17102,63	-3,05	-40415,47	-7,22	-9721,74	-1,74	-6211,31	-1,11	-30964,32	-5,53
E3	-2374,79	-0,42	3135,45	0,56	-6464,42	-1,15	-5947,84	-1,06	-6593,57	-1,18
E4	1733,17	0,31	6023,69	1,08	-1402,21	-0,25	-742,13	-0,13	2805,80	0,50
E5	176,91	0,03	1982,42	0,35	-2618,72	-0,47	-1686,85	-0,30	176,91	0,03
E6	284,79	0,05	4327,78	0,77	1604,95	0,29	491,06	0,09	2677,58	0,48
E7	85965,15	15,35	96770,37	17,28	87773,20	15,68	81918,57	14,63	91690,63	16,38
E8	-3919,26	-0,70	-5147,01	-0,92	-1542,97	-0,28	-1820,21	-0,33	-4830,18	-0,86

<b>Cadeira 2 (cavilha)</b>	<b>1º impacto</b>		<b>2º impacto</b>		<b>3º impacto</b>		<b>4º impacto</b>		<b>5º impacto</b>	
<b>Extensômetro</b>	<b>deformação (x10<sup>-6</sup>)</b>	<b>tensão (MPa)</b>	<b>deformação (x10<sup>-6</sup>)</b>	<b>tensão (MPa)</b>	<b>deformação (x10<sup>-6</sup>)</b>	<b>tensão (MPa)</b>	<b>deformação (x10<sup>-6</sup>)</b>	<b>tensão (MPa)</b>	<b>deformação (x10<sup>-6</sup>)</b>	<b>tensão (MPa)</b>
E1	-1581,35	-0,28	-2023,21	-0,36	-744,14	-0,13	209,35	0,04	-4976,70	-0,89
E2	2851,93	0,51	3333,41	0,60	2555,63	0,46	3074,15	0,55	2666,74	0,48
E3	16619,19	2,97	-7190,33	-1,28	-10237,95	-1,83	17190,62	3,07	-12857,00	-2,30
E4	3281,25	0,59	11531,26	2,06	8718,75	1,56	7843,75	1,40	5906,25	1,05
E5	1529,40	0,27	6411,75	1,15	8764,69	1,57	15999,99	2,86	14470,58	2,58
E6	1622,27	0,29	1355,60	0,24	1400,05	0,25	933,38	0,17	1088,94	0,19
E7	410,68	0,07	3607,11	0,64	3732,11	0,67	3642,82	0,65	4071,39	0,73
E8	551,70	0,10	-3293,13	-0,59	-1896,58	-0,34	-2758,65	-0,49	-2931,06	-0,52

<b>Cadeira 2 (cavilha)</b>	<b>6º impacto</b>		<b>7º impacto</b>		<b>8º impacto</b>		<b>9º impacto</b>		<b>10º impacto</b>	
E1	-92,98	-0,02	-139,49	-0,02	-1162,75	-0,21	-4255,77	-0,76	-4720,89	-0,84
E2	2777,85	0,50	3111,19	0,56	3407,48	0,61	3629,71	0,65	3703,78	0,66
E3	145571,60	26,00	-84666,52	-15,12	-9571,29	-1,71	<b>352000,20</b>	<b>62,86</b>	-	-
E4	6781,25	1,21	4156,25	0,74	2093,75	0,37	2406,25	0,43	3406,25	0,61
E5	15735,28	2,81	17529,40	3,13	11941,17	2,13	19764,70	3,53	23411,75	4,18
E6	1800,05	0,32	933,38	0,17	733,38	0,13	1111,16	0,20	1644,49	0,29
E7	4517,82	0,81	3642,82	0,65	2357,11	0,42	3660,68	0,65	4089,25	0,73
E8	-3086,23	-0,55	-2758,65	-0,49	-1913,82	-0,34	-3310,37	-0,59	-3293,13	-0,59

<b>Cadeira 3 (cavilha)</b>	<b>1º impacto</b>		<b>2º impacto</b>		<b>3º impacto</b>		<b>4º impacto</b>		<b>5º impacto</b>	
<b>Extensômetro</b>	<b>deformação (x10<sup>-6</sup>)</b>	<b>tensão (MPa)</b>	<b>deformação (x10<sup>-6</sup>)</b>	<b>tensão (MPa)</b>	<b>deformação (x10<sup>-6</sup>)</b>	<b>tensão (MPa)</b>	<b>deformação (x10<sup>-6</sup>)</b>	<b>tensão (MPa)</b>	<b>deformação (x10<sup>-6</sup>)</b>	<b>tensão (MPa)</b>
E1	2148,90	0,38	-3042,59	-0,54	-5042,59	-0,90	-4510,67	-0,81	2340,39	0,42
E2	3315,87	0,59	4421,13	0,79	5631,66	1,01	4947,45	0,88	-1210,45	-0,22
E3	680,00	0,12	320,00	0,06	80,00	0,01	40,00	0,01	2320,00	0,41
E4	1272,41	0,23	5408,77	0,97	12226,95	2,18	12954,23	2,31	2636,05	0,47
E5	548,94	0,10	176,39	0,03	-9078,52	-1,62	<b>396686,20</b>	<b>70,84</b>	-	-
E6	-731,73	-0,13	390,23	0,07	365,84	0,07	121,93	0,02	-463,43	-0,08
E7	-6470,56	-1,16	2647,09	0,47	3549,05	0,63	6019,64	1,08	-6803,89	-1,22
E8	11728,79	2,09	-1830,54	-0,33	-2644,10	-0,47	-2576,30	-0,46	11084,72	1,98

<b>Cadeira 3 (cavilha)</b>	<b>6º impacto</b>		<b>7º impacto</b>		<b>8º impacto</b>		<b>9º impacto</b>		<b>10º impacto</b>		<b>11º impacto</b>	
<b>Extensômetro</b>	<b>deformação (x10<sup>-6</sup>)</b>	<b>tensão (MPa)</b>	<b>deformação (x10<sup>-6</sup>)</b>	<b>tensão (MPa)</b>	<b>deformação (x10<sup>-6</sup>)</b>	<b>tensão (MPa)</b>	<b>deformação (x10<sup>-6</sup>)</b>	<b>tensão (MPa)</b>	<b>deformação (x10<sup>-6</sup>)</b>	<b>tensão (MPa)</b>	<b>deformação (x10<sup>-6</sup>)</b>	<b>tensão (MPa)</b>
E1	72595,71	12,96	73382,95	13,11	44446,77	7,94	46489,33	8,30	52808,48	9,43	255,28	0,05
E2	1842,18	0,33	2315,87	0,41	4473,76	0,80	4000,08	0,71	4157,97	0,74	2789,55	0,50
E3	1120,00	0,20	1280,00	0,23	1400,00	0,25	1400,00	0,25	1480,00	0,26	2400,00	0,43
E4	2090,59	0,37	4090,59	0,73	8363,32	1,49	8590,59	1,53	8772,41	1,57	4772,41	0,85
E5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
E6	926,81	0,17	-0,02	0,00	512,18	0,09	634,13	0,11	1219,49	0,22	609,74	0,11
E7	2529,44	0,45	2588,26	0,46	3470,62	0,62	3686,30	0,66	4294,15	0,77	-1176,44	-0,21
E8	-2610,20	-0,47	-1152,57	-0,21	-3627,15	-0,65	-3101,72	-0,55	-3186,47	-0,57	1186,41	0,21

O extensômetro 7 da cadeira 1 teve uma deformação residual após o primeiro impacto, conforme ilustrado nos gráficos e tabelas anteriores, fato que explica os valores de tensão lidos na média de 15MPa.

A partir do quarto impacto, o extensômetro 3 da cadeira 2 registrou valores cada vez maiores de tensão e, no nono impacto, houve a ruptura (tensão lida de 62,86MPa próxima a tensão de ruptura da madeira de 70MPa), ocasionando a ruptura da ligação da trava posterior do assento com o pé esquerdo, conforme figura 4.68.

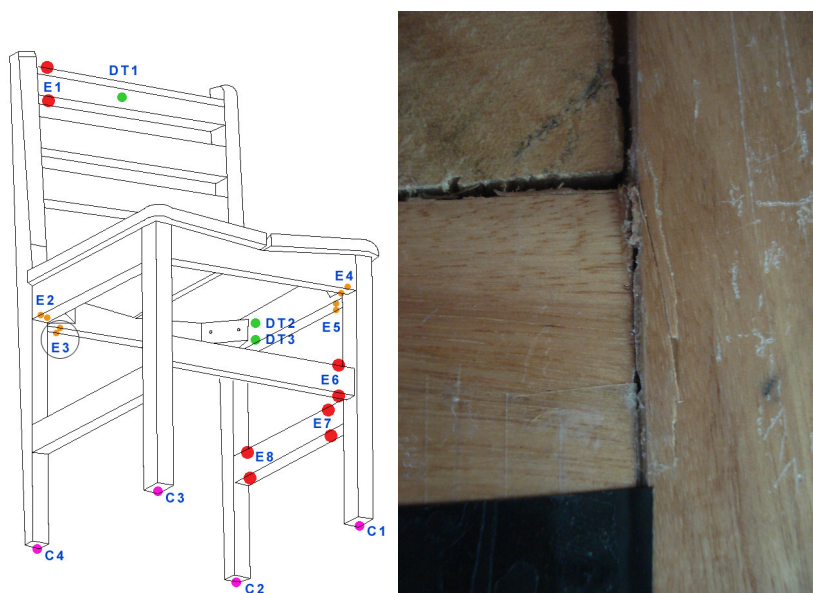


Figura 4.68 Ruptura da ligação cavilhada da trava posterior do assento com o pé esquerdo - cadeira 02

Na cadeira 3, também ocorreu a ruptura de uma ligação, (tensão lida de 70,84MPa) desta vez da ligação entre a perna frontal direita e a trava do assento, a partir do 4º impacto, conforme figura 4.69.

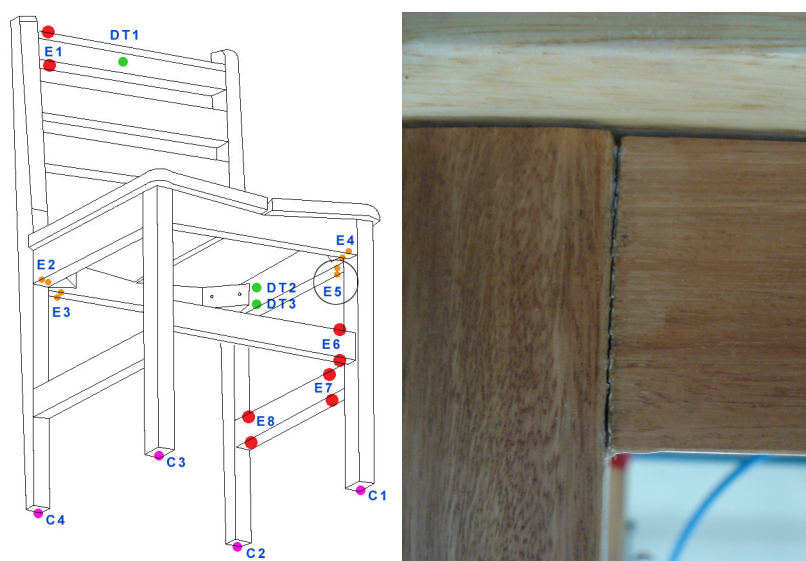


Figura 4.69 Ruptura da ligação cavilhada entre a perna frontal direita e a trava do assento - cadeira 03

Neste ensaio, apesar de importante para o entendimento do comportamento do móvel quando submetido às ações de impacto no encosto, deve ser avaliada a carga (peso pêndulo) e a velocidade de impacto em trabalho futuro.

#### 4.4.1.8 Ensaio das ponteiras dos pés da cadeira (6.4.10)

O ensaio das ponteiras dos pés das cadeiras escolares simula o ato de arrastar a cadeira para frente e para trás. Dessa maneira, a cadeira é arrastada por um percurso de um metro, 40.000 vezes, a uma frequência entre 5 a 10 ciclos por minuto, com uma carga de massa de 100N presa ao assento. De acordo com a NBR 14006/2008, o número de vezes é de 20.000 ciclos.

O tempo de ensaio da cadeira 1 foi de 67 horas e 7 segundos. O extensômetro 5 rompeu com 14 horas e 58 segundos de ensaio. Não houve dano aparente.

Mesmo com o afrouxamento de ligações na cadeira 2, decidiu-se por continuar a avaliação desses móveis que diferentemente do outro possui ligação com cavilhas.

Para a cadeira 2, o ensaio teve um tempo de duração de aproximadamente 67 horas e 15 segundos. Os extensômetros 4 e 5 romperam logo no início do ensaio, já o extensômetro 8 registrou a ruptura da ligação entre a perna posterior direita e a trava lateral direita com 48 horas de ensaio.

Não foi realizado o ensaio com a cadeira 3, uma vez que ocorreu novamente o afrouxamento da ligação da primeira testemunha - cadeira 2.

As figuras 4.70 e 4.71 apresentam o comportamento dos extensômetros durante todo esse ensaio.

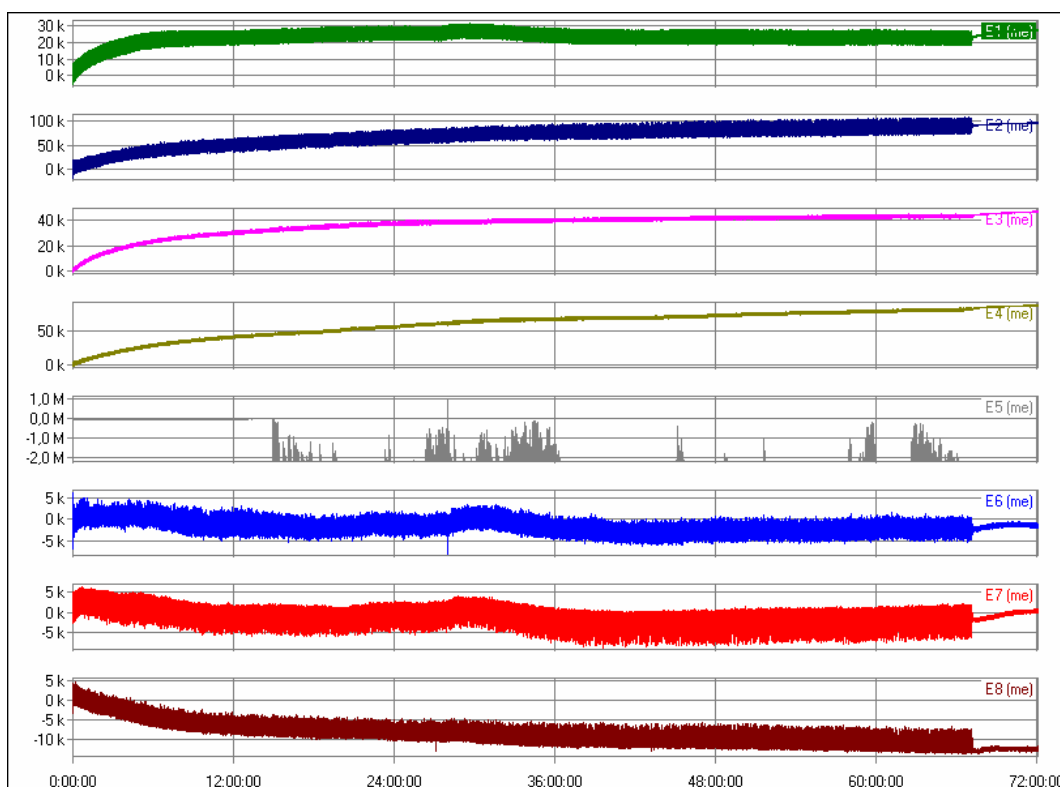


Figura 4.70 Gráfico deformação x tempo: panorama geral. Extensômetros – cadeira 1  
– ensaio 6.4.10 ( $k=10^3$ )

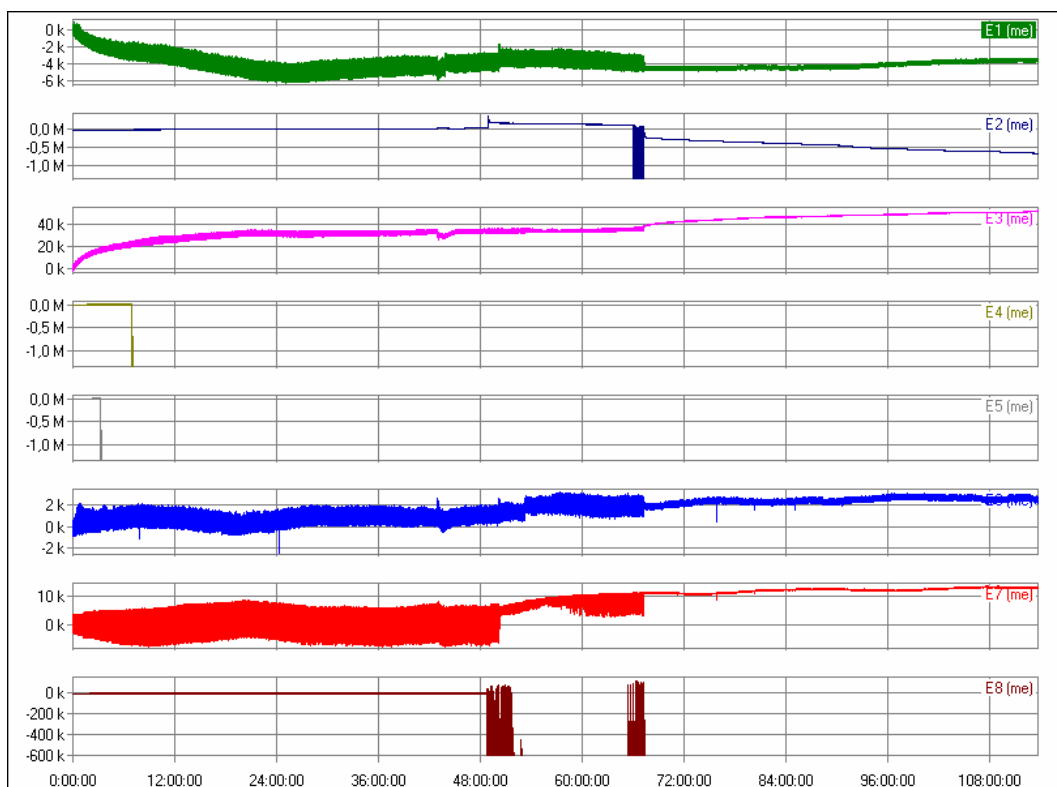


Figura 4.71 Gráfico deformação x tempo: panorama geral. Extensômetros – cadeira2  
– ensaio 6.4.10 ( $k=10^3$ )

A tabela 4.39 apresenta-se com os valores médios coletados ao final de cada ensaio.

TABELA 4.39

Valores médios da deformação e de tensão - Extensômetros - Ensaio 6.4.10

Extensômetro	Cadeira 1 (espiga)		Cadeira 2 (cavilha)	
	deformação ( $\times 10^{-6}$ )	tensão (MPa)	deformação ( $\times 10^{-6}$ )	tensão (MPa)
E1	22585,43	4,03	-3893,99	-0,70
E2	86979,98	15,53	140878,55	25,16
E3	42798,90	7,64	34927,94	6,24
E4	81975,69	14,64	-	-
E5	-	-	-	-
E6	-2685,31	-0,48	1754,67	0,31
E7	-1409,08	-0,25	10000,42	1,79
E8	-12131,08	-2,17	<b>-280470,50</b>	<b>-50,09</b>

Foram registrados valores de tensão das ligações entre pernas e travas do assento (extensômetro 1, 2, 3 e 4) da média de 10,46 MPa, o que representa 15% do valor da tensão de ruptura. Pelo gráfico da cadeira 1, figura 119, a partir da metade do tempo de ensaio os valores dos extensômetros se mantêm quase constantes, o que valida o proposto na NBR 14006/2008 de redução do número de ciclos a serem realizados de 40.000 para 20.000 vezes.

A ruptura da ligação entre a perna posterior direita e a trava lateral direita do assento da cadeira 2 está apresentada na figura 4.72.

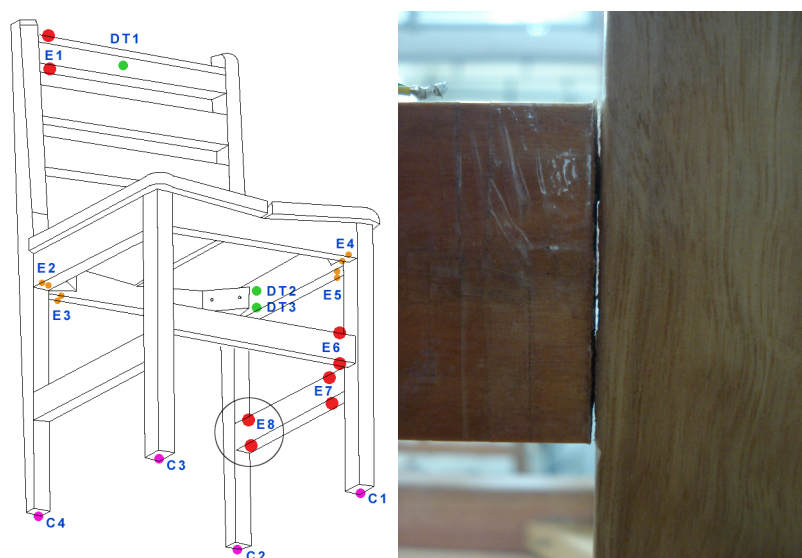


Figura 4.72 Afrouxamento da ligação cavilhada entre a perna posterior direita e a trava lateral do assento - cadeira 2

Este ensaio é importante uma vez que simula uma situação real e comum desse móvel e assegura a resistência das ligações entre pés e travas.

#### 4.4.1.9 Ensaio do apoio para os pés da cadeira (6.4.11)

No ensaio do apoio-pés das cadeiras escolares, uma carga no valor de 2000N é aplicada por 10 vezes no ponto no qual pode ocorrer a maior falha no apoio-pé, sendo mantida por pelo menos 10s durante cada aplicação. Esse ensaio foi eliminado da NBR 14006/2008.

O ensaio com a cadeira 1 durou 2 minutos e 15 segundos e não houve dano aparente. O gráfico a seguir, figura 4.73, apresenta um panorama geral do ensaio, mas a tabela 4.40 apresenta apenas os valores médios coletados durante a última aplicação de carga do ensaio com a cadeira 1.

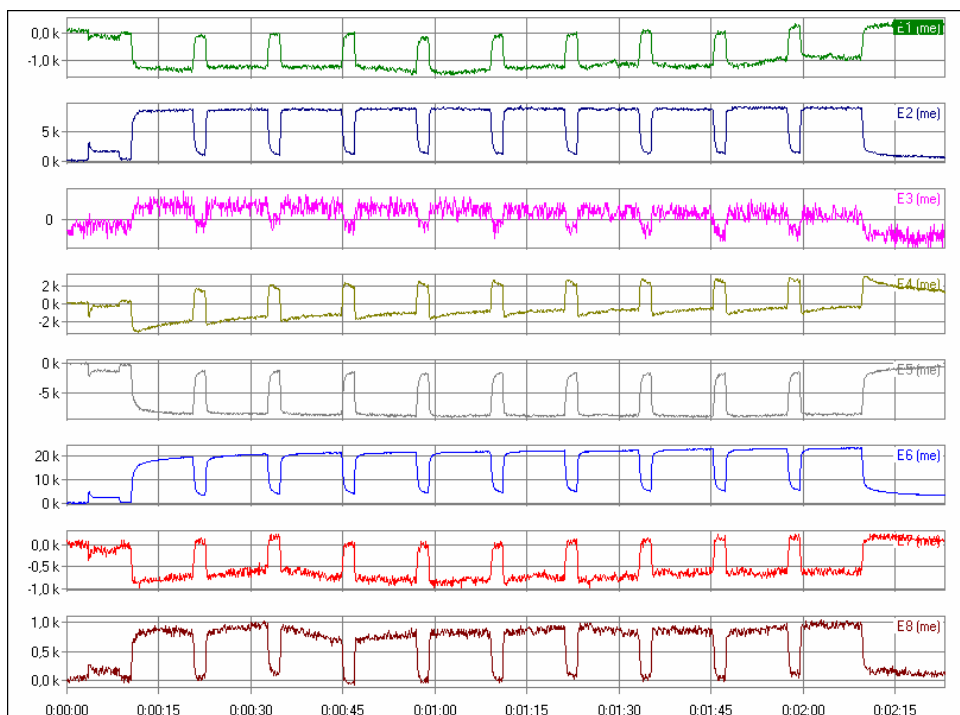


Figura 4.73 Gráfico deformação x tempo. Extensômetros – cadeira 1 – ensaio 6.4.11  
( $k=10^3$ )

TABELA 4.40

Valores médios da deformação e de tensão - Extensômetros - Ensaio 6.4.11

	Cadeira 1 (espiga)	
Extensômetro	deformação ( $\times 10^{-6}$ )	tensão (MPa)
E1	-907,88	-0,16
E2	8654,37	1,55
E3	221,95	0,04
E4	-598,02	-0,11
E5	-8507,31	-1,52
E6	22898,57	4,09
E7	-712,41	-0,13
E8	954,10	0,17

A tensão se manteve praticamente constante durante todas as aplicações, colocando, mais uma vez, em discussão, a real necessidade da repetição por 10 vezes da aplicação de carga. Além disso, seu valor ficou bem abaixo do valor de ruptura.

#### **4.4.1.10 Ensaio de carga estática vertical da mesa (6.3.1)**

No ensaio de cargas verticais no tampo de mesas escolares, pede-se aplicar uma carga no valor de 1250N sobre o tampo da mesa. Entretanto, não é definida a quantidade de vezes que a carga deve ser aplicada, nem tampouco o tempo de aplicação, aqui determinado por 10 segundos e somente uma aplicação, já que, nos outros ensaios estáticos realizados com a cadeira colocou-se em discussão o número de repetições solicitados pela norma.

Segundo a NBR 14006/2003, deve-se registrar a deflexão máxima da mesa com a força aplicada no ponto mais desfavorável, e esta não deve exceder o valor do vão/150 para tampos de madeira maciça. Já em sua atualização (NBR 14006/2208), esse valor é de 10% do valor do maior vão.

Para a mesa 1, o tempo de ensaio foi de 25 segundos, tendo sido aplicada uma carga 4% menor que a prevista (somatório das cargas das células de carga igual a 1202,70N e não 1250N conforme previsto). Não houve dano aparente.

Já para a mesa 2, a duração do ensaio foi de 55 segundos. Foi aplicada uma carga 1,25% menor que a prevista (somatório das cargas das células de carga igual a 1234,45N) por um tempo maior do que o inicialmente previsto. Mesmo assim, não houve dano aparente.

O comportamento de cada equipamento de leitura durante todo o ensaio é melhor percebido nas figuras 4.74 a 4.77 e tabelas 4.41 a 4.43.

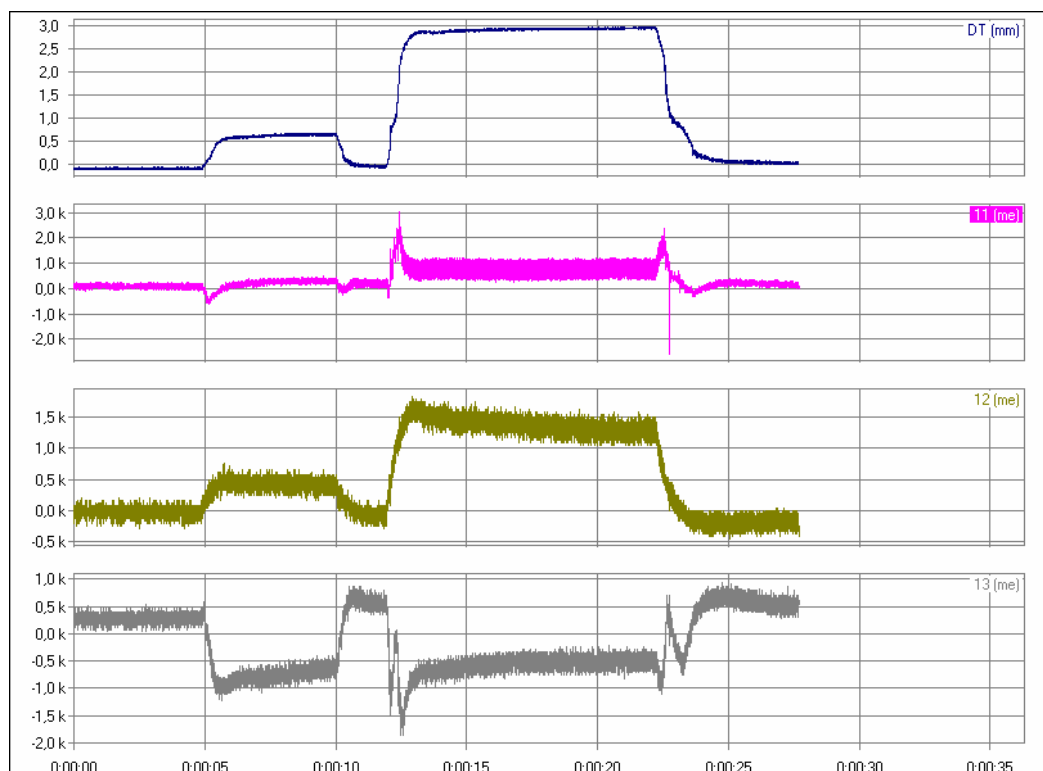


Figura 4.74 Gráfico deslocamento x tempo: panorama geral. DT e extensômetros – mesa 1 – ensaio 6.3.1 ( $k=10^3$ )

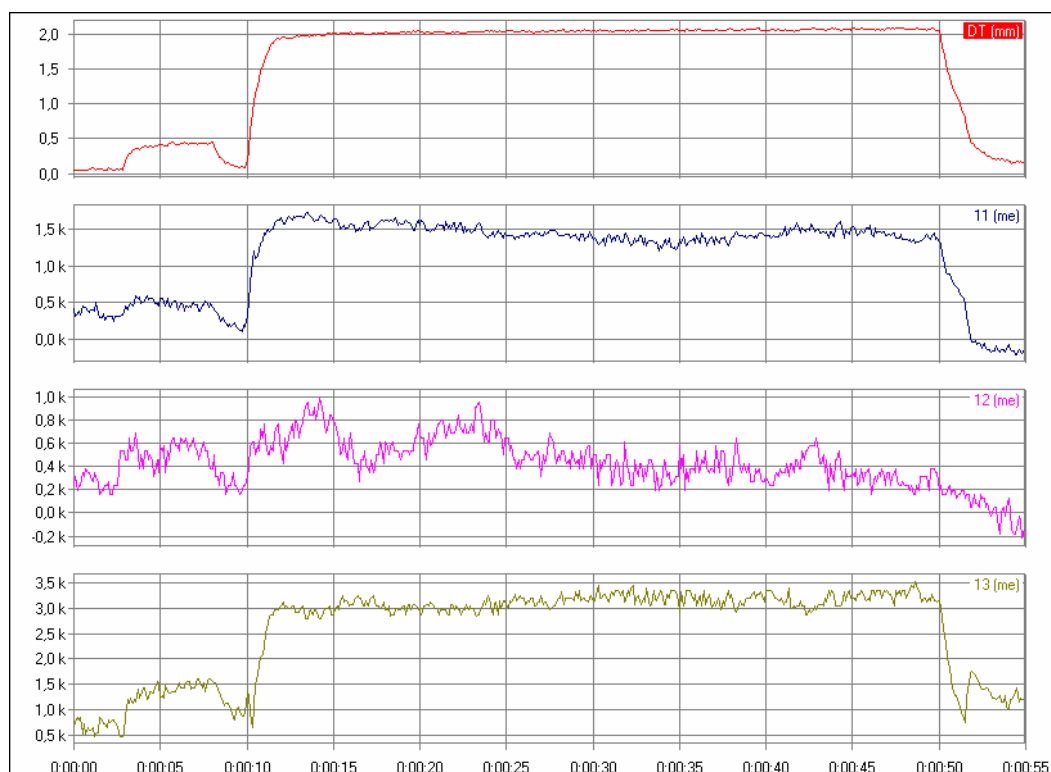


Figura 4.75 Gráfico deslocamento x tempo: panorama geral. DT e extensômetros – mesa 2 – ensaio 6.3.1 ( $k=10^3$ )

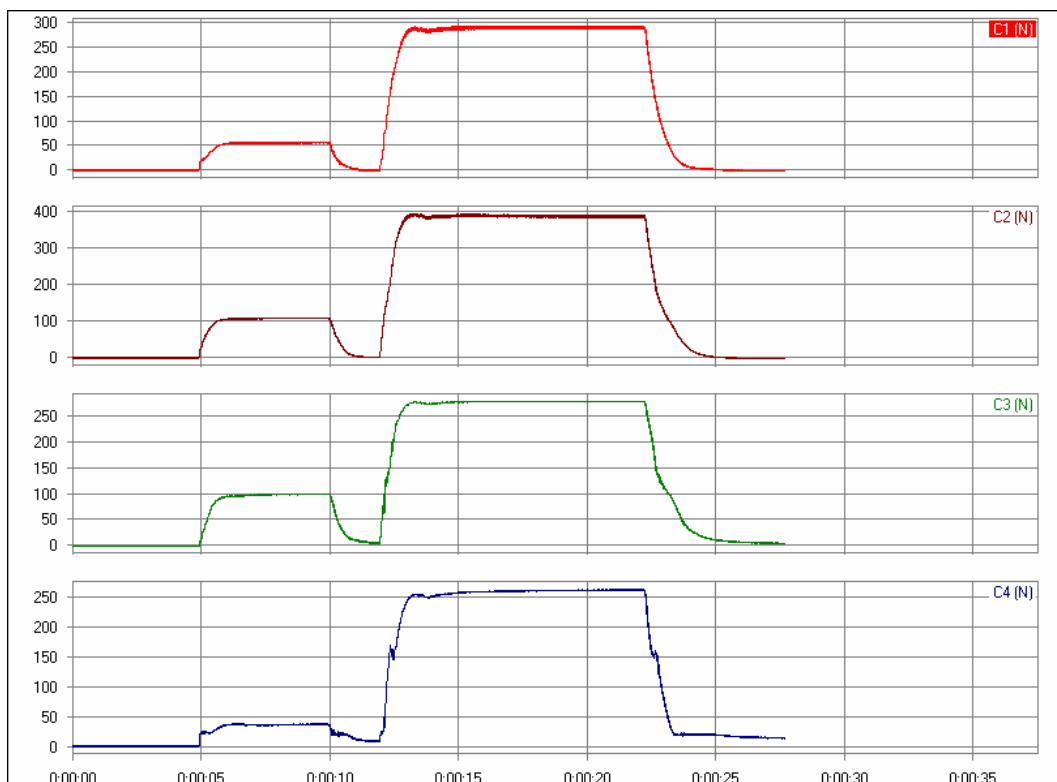


Figura 4.76 Gráfico carga x tempo. Células de carga – mesa 1 – ensaio 6.3.1

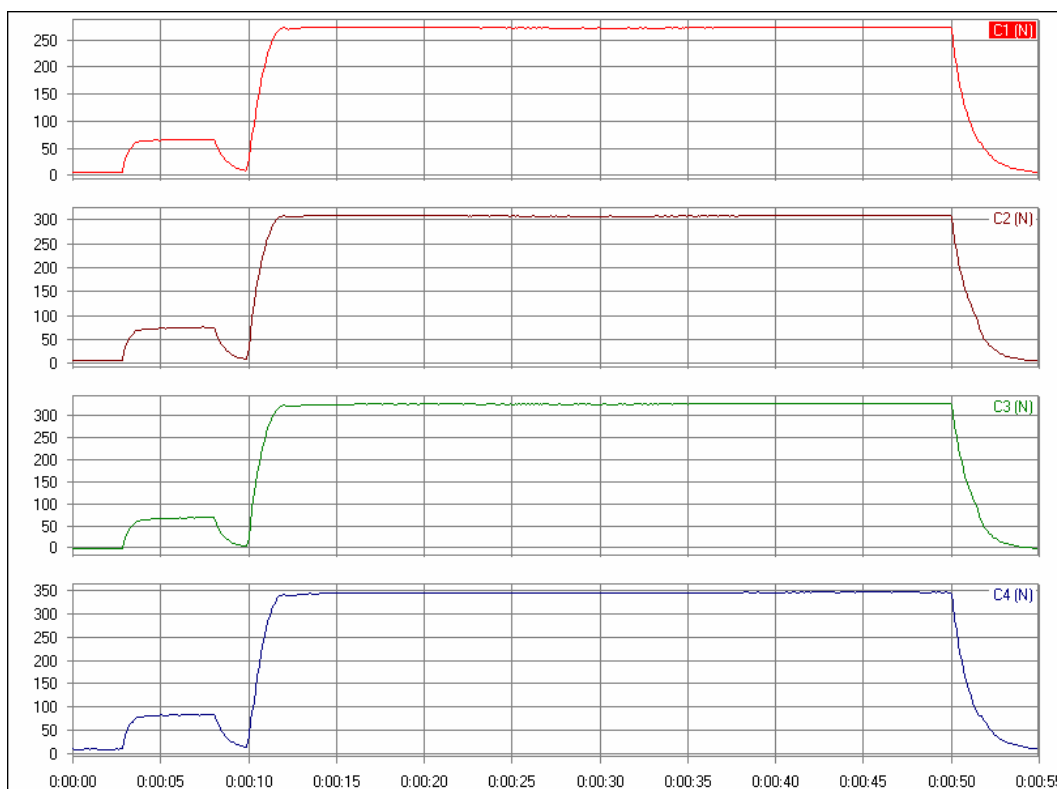


Figura 4.77 Gráfico carga x tempo. Células de carga – mesa 2 – ensaio 6.3.1

TABELA 4.41

Valor máximo dos deslocamentos - DT - Ensaio 6.3.1

<b>Mesa 1 (espiga)</b>		<b>Mesa 2 (cavilha)</b>	
<b>DT</b>	<b>deslocamento (mm)</b>	<b>DT</b>	<b>deslocamento (mm)</b>
DT1	2,96	DT1	2,00

TABELA 4.42

Valores médios e total de carga - Células de carga - Ensaio 6.3.1

<b>Mesa 1 (espiga)</b>		<b>Mesa 2 (cavilha)</b>	
<b>Célula de carga</b>	<b>carga (N)</b>	<b>Célula de carga</b>	<b>carga (N)</b>
C1	286,20	C1	266,85
C2	385,35	C2	302,40
C3	278,60	C3	328,70
C4	252,55	C4	336,50
<b>Total</b>	<b>1202,70</b>	<b>Total</b>	<b>1234,45</b>

TABELA 4.43

Valores médios da deformação e de tensão - Extensômetros - Ensaio 6.3.1

	<b>Mesa 1 (espiga)</b>		<b>Mesa 2 (cavilha)</b>	
<b>Extensômetro</b>	<b>deformação (<math>\times 10^{-6}</math>)</b>	<b>tensão (MPa)</b>	<b>deformação (<math>\times 10^{-6}</math>)</b>	<b>tensão (MPa)</b>
E11	785,08	0,14	1043,88	0,19
E12	1573,13	0,28	251,93	0,04
E13	-910,82	-0,16	2448,53	0,44

Os valores de tensão lidos ficaram bem abaixo do valor de ruptura e se mantiveram constantes durante o tempo de aplicação de carga. O valor registrado pelo DT é a deflexão máxima da mesa, medido no meio do tampo (2,96mm para mesa 1 e 2,00mm para mesa 2). Conforme previsto na norma e já salientado, esse valor não deve exceder o valor do vão/150 (4mm) para tampo de madeira maciça (NBR 14006/2003) ou 10% do valor do maior vão conforme NBR 14006/2008 (6mm).

#### 4.4.1.11 Ensaio de carga estática horizontal da mesa (6.3.3)

O ensaio de carga horizontal em mesas escolares consiste em sujeitar esse móvel, por 10 vezes, a uma carga no valor de 600N aplicada no meio da lateral da mesa em 4 direções diferentes (lados a, b, c e d – figura 4.78). Uma massa de balanceamento de 1000N deve ser posicionada no centro do tampo.

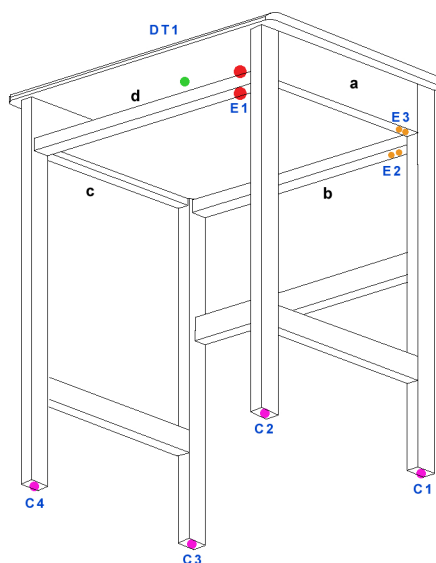


Figura 4.78 Definição dos lados a, b, c e d de aplicação de carga na mesa

Deve-se restringir a base da mesa por meio de uma trava localizada no lado de aplicação da força e colocar roletes nos pés localizados no lado oposto. Além disso, deve-se medir o movimento da mesa, em milímetros, durante a primeira e a última aplicações e essa deflexão não deve exceder 1mm para cada 25N de força aplicada.

Os ensaios com a mesa 1 tiveram como tempo médio de duração 2 minutos e 15 segundos. No ensaio com o terceiro lado da mesa (lado c), o ruído prejudicou as leituras do extensômetro 12. Não houve dano aparente.

Já para a mesa 2 o ensaio com o primeiro lado (lado a) durou 2 minutos e 20 segundos. Depois da 5ª carga, a leitura do DT começou a decrescer e não foi registrada a nona e a décima aplicação. Neste primeiro ensaio, não houve dano aparente. Entretanto, com 17 segundos do segundo ensaio (lado b), houve o colapso da mesa e o fim do ensaio.

As figuras 4.79 a 4.84 e tabelas 4.44 a 4.51 apresentam os resultados de todo o ensaio.

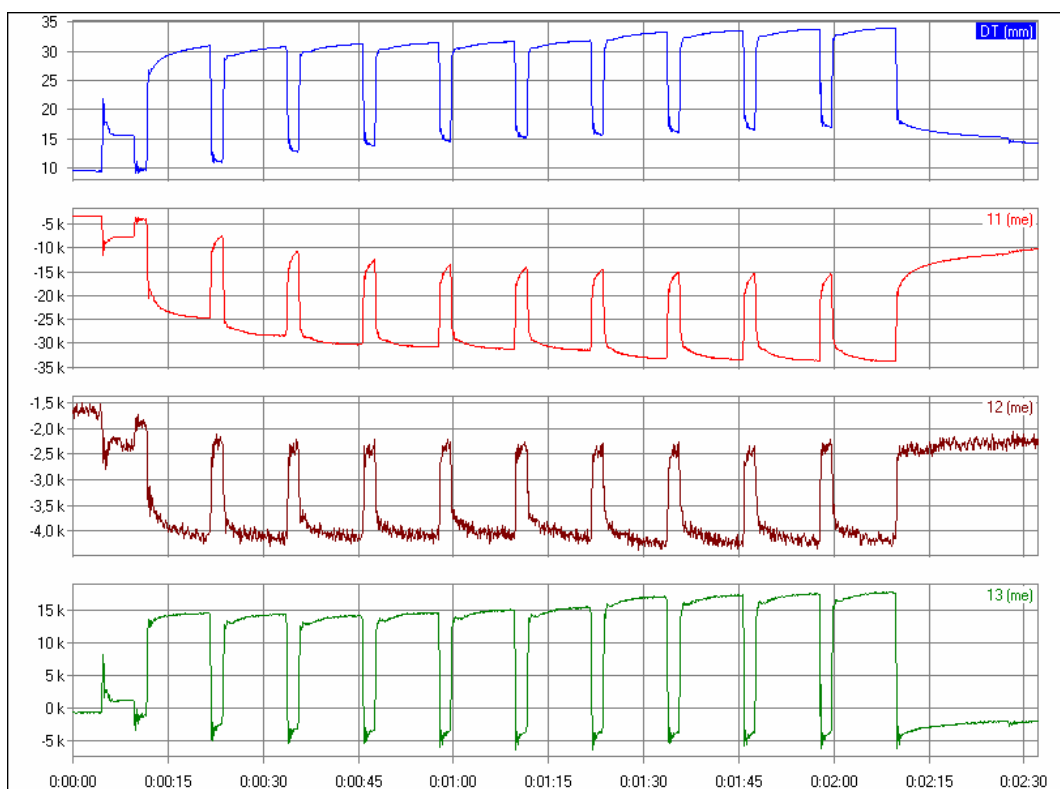


Figura 4.79 Gráfico deslocamento x tempo: panorama geral. DT e extensômetros – mesa 1 – ensaio 6.3.3 lado a ( $k=10^3$ )

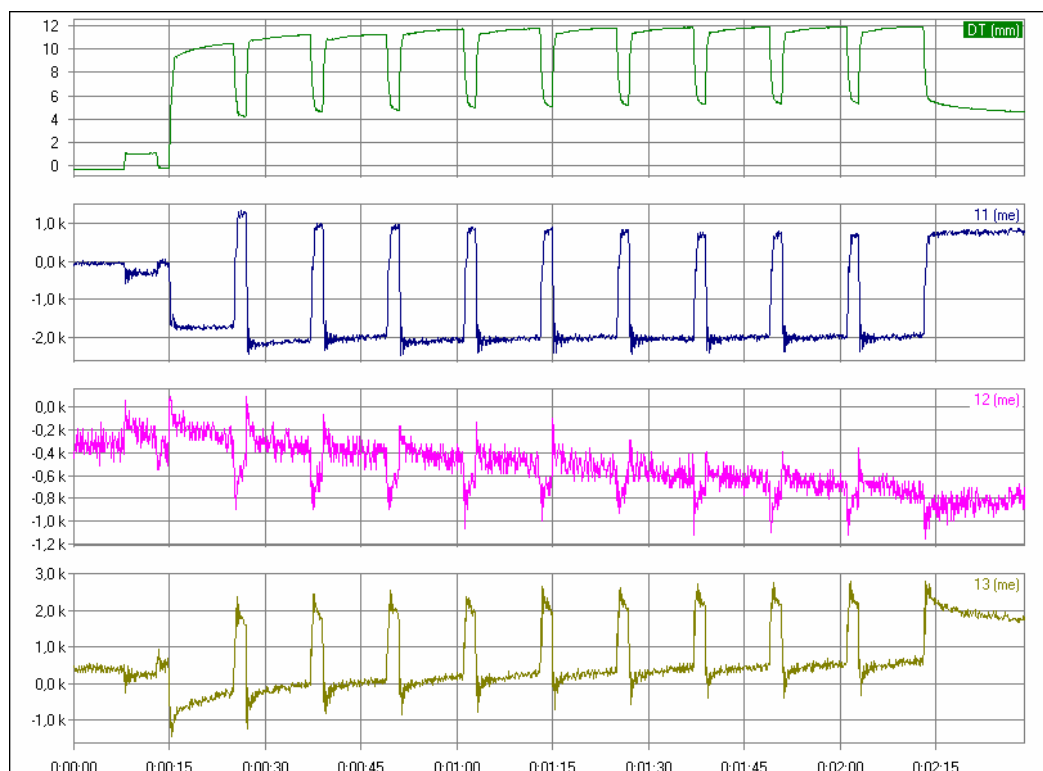


Figura 4.80 Gráfico deslocamento x tempo: panorama geral. DT e extensômetros – mesa 1 – ensaio 6.3.3 lado b ( $k=10^3$ )

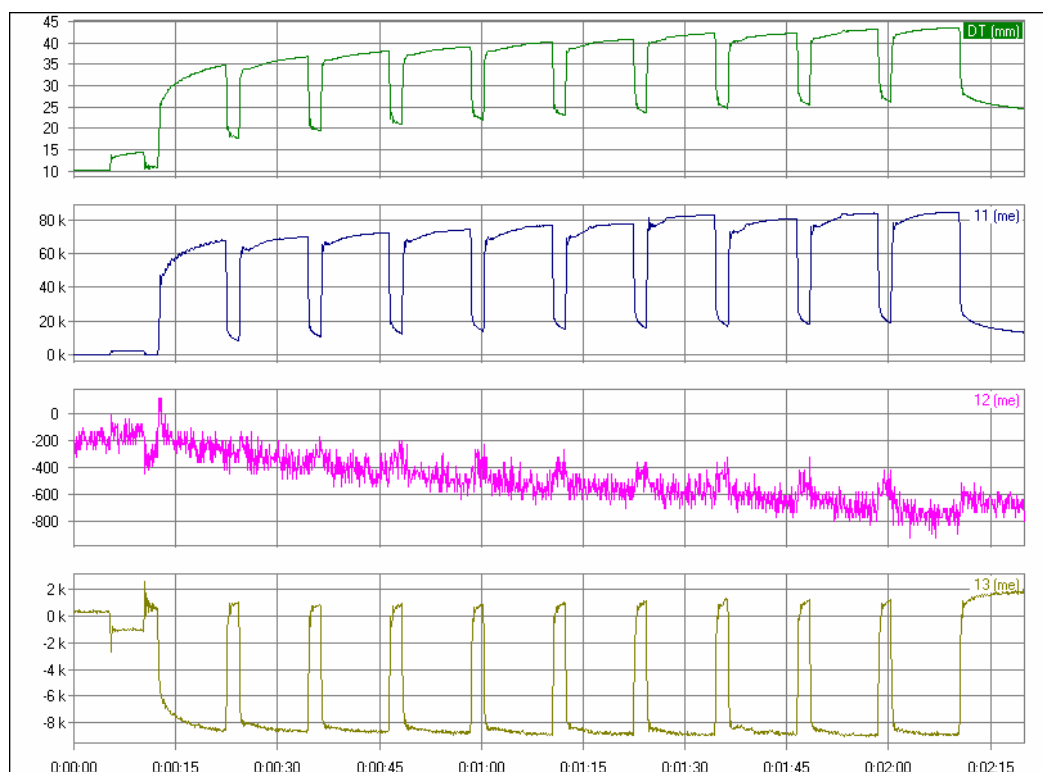


Figura 4.81 Gráfico deslocamento x tempo: panorama geral. DT e extensômetros – mesa 1 – ensaio 6.3.3 lado c ( $k=10^3$ )

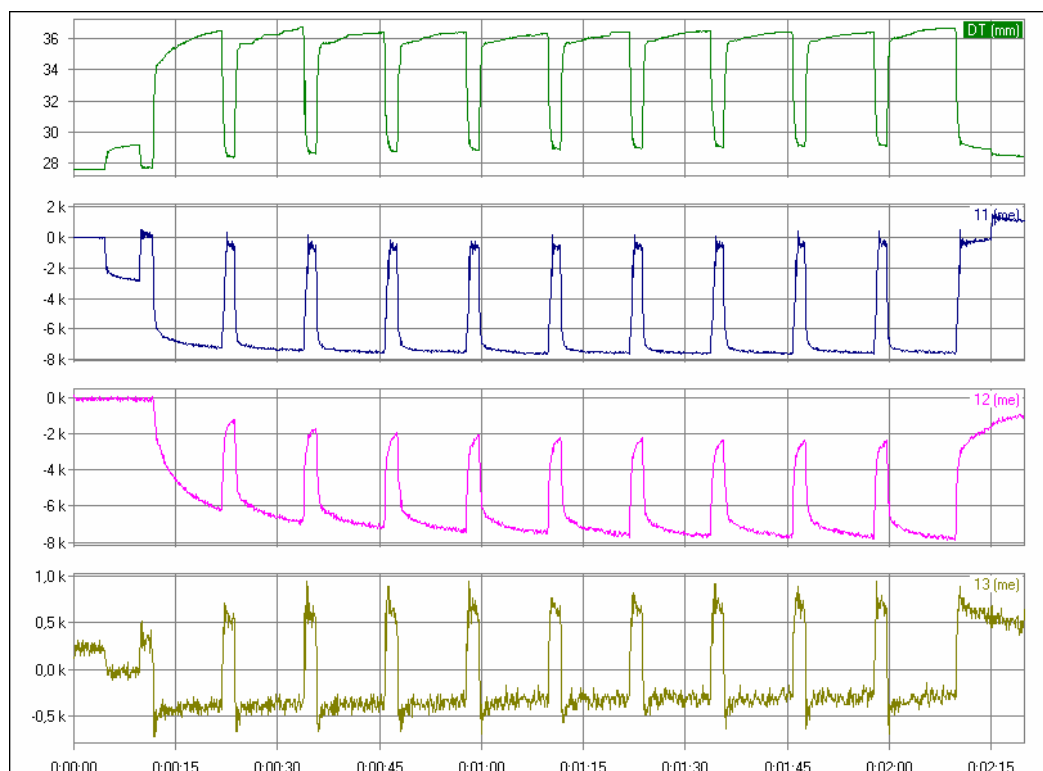


Figura 4.82 Gráfico deslocamento x tempo: panorama geral. DT e extensômetros – mesa 1 – ensaio 6.3.3 lado d ( $k=10^3$ )

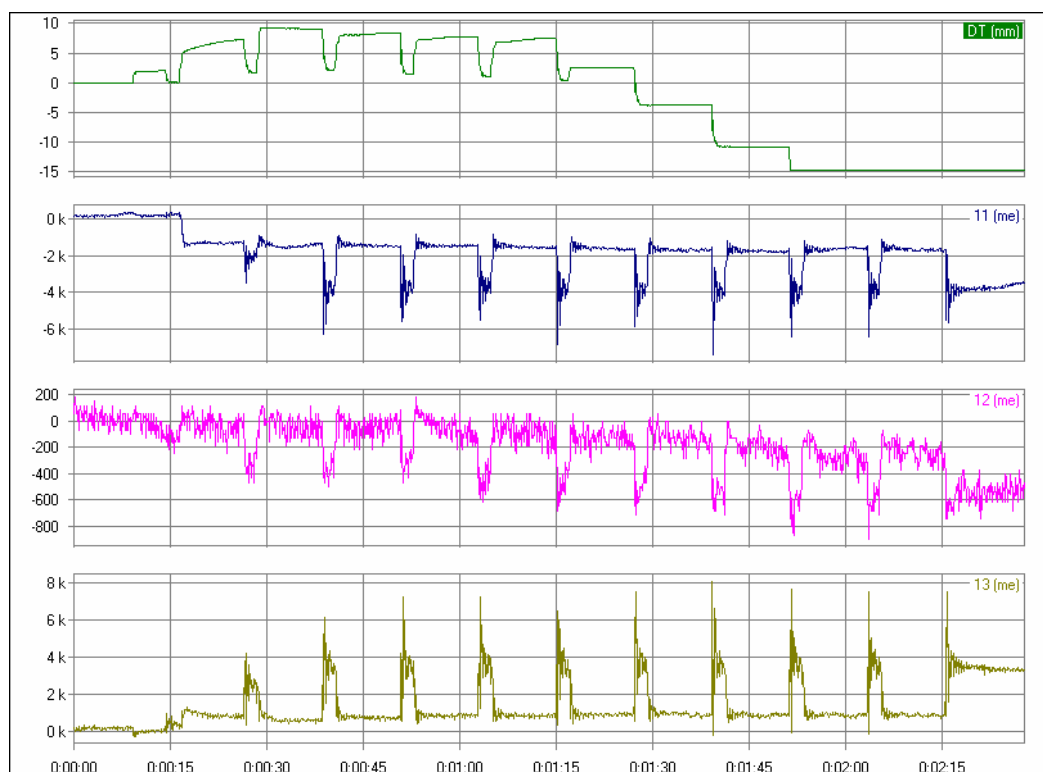


Figura 4.83 Gráfico deslocamento x tempo: panorama geral. DT e extensômetros – mesa 2 – ensaio 6.3.3 lado a ( $k=10^3$ )

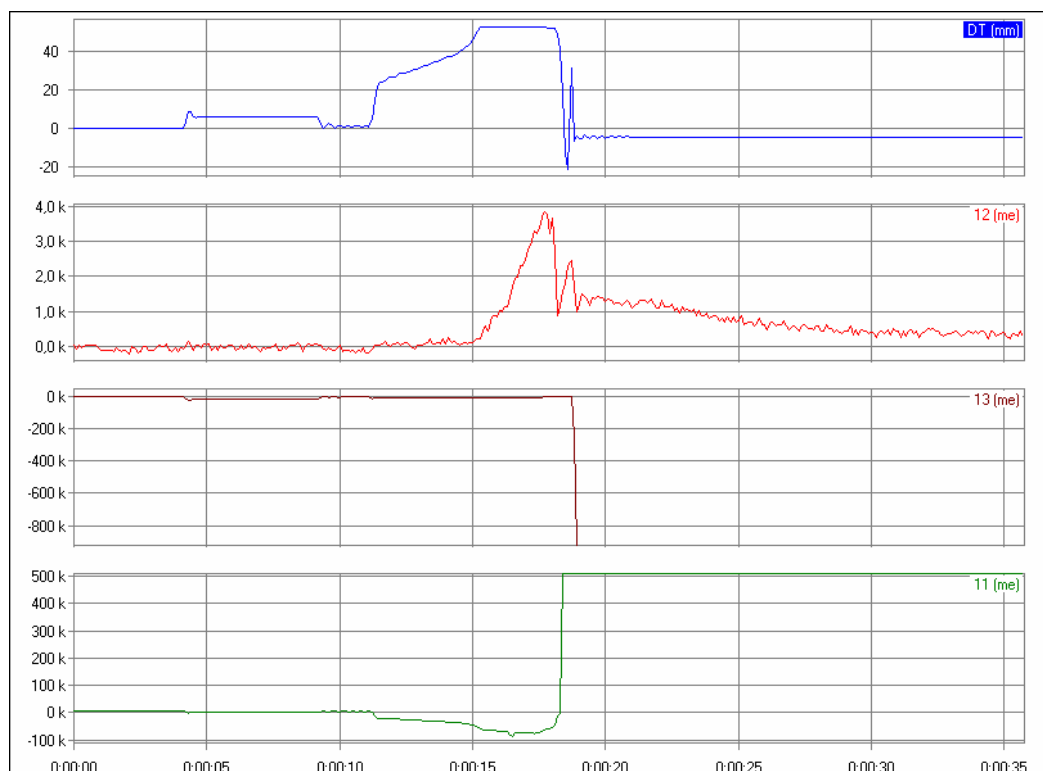


Figura 4.84 Gráfico deslocamento x tempo: panorama geral. DT e extensômetros – mesa 2 – ensaio 6.3.3 lado b ( $k=10^3$ )

TABELA 4.44

Valores médios dos deslocamentos - DTs - Ensaio 6.3.3 lado a

Mesa 1 (espiga)		Mesa 2 (cavilha)	
DT	deslocamento (mm)	DT	deslocamento (mm)
DT1	24,01	DT1	-14,75

TABELA 4.45

Valores médios da deformação e de tensão - Extensômetros - Ensaio 6.3.3 lado a

Extensômetro	Mesa 1 (espiga)	tensão (MPa)	Mesa 2 (cavilha)	tensão (MPa)
	deformação ( $\times 10^{-6}$ )		deformação ( $\times 10^{-6}$ )	
E11	-29580,75	-5,28	-3737,89	-0,67
E12	-2394,19	-0,43	-625,00	-0,11
E13	17822,97	3,18	3243,24	0,58

TABELA 4.46

Valores médios dos deslocamentos - DTs - Ensaio 6.3.3 lado b

<b>Mesa 1 (espiga)</b>		<b>Mesa 2 (cavilha)</b>	
<b>DT</b>	<b>deslocamento (mm)</b>	<b>DT</b>	<b>deslocamento (mm)</b>
DT1	12,05	DT1	-4,15

TABELA 4.47

Valores médios da deformação e de tensão - Extensômetros - Ensaio 6.3.3 lado b

	<b>Mesa 1 (espiga)</b>		<b>Mesa 2 (cavilha)</b>	
<b>Extensômetro</b>	<b>deformação (<math>\times 10^{-6}</math>)</b>	<b>tensão (MPa)</b>	<b>deformação (<math>\times 10^{-6}</math>)</b>	<b>tensão (MPa)</b>
E11	-1995,54	-0,36	<b>482073,55</b>	<b>86,09</b>
E12	-580,65	-0,10	719,65	0,13
E13	180,59	0,03	-	-

TABELA 4.48

Valores médios dos deslocamentos - DTs - Ensaio 6.3.3 lado c

<b>Mesa 1 (espiga)</b>	
<b>DT</b>	<b>deslocamento (mm)</b>
DT1	32,65

TABELA 4.49

Valores médios da deformação e de tensão - Extensômetros - Ensaio 6.3.3 lado c

	<b>Mesa 1 (espiga)</b>	
<b>Extensômetro</b>	<b>deformação (<math>\times 10^{-6}</math>)</b>	<b>tensão (MPa)</b>
E11	81022,28	14,47
E12	-520,65	-0,09
E13	-8859,43	-1,58

TABELA 4.50

Valores médios dos deslocamentos - DTs - Ensaio 6.3.3 lado d

<b>Mesa 1 (espiga)</b>	
<b>DT</b>	<b>deslocamento (mm)</b>
DT1	8,84

TABELA 4.51

Valores médios da deformação e de tensão - Extensômetros - Ensaio 6.3.3 lado d

<b>Extensômetro</b>	<b>Mesa 1 (espiga)</b>	
	<b>deformação (<math>\times 10^{-6}</math>)</b>	<b>tensão (MPa)</b>
E11	-7486,29	-1,34
E12	-7368,01	-1,32
E13	-568,22	-0,10

O maior valor de deslocamento lido pelo DT foi de 32,65mm (mesa 1, ensaio com o lado c) que excede o valor máximo de 24mm estipulado pela NBR 14006/2003 e pela NBR 14006/2008. Entretanto, esse valor não é confiável devido ao grande deslocamento residual existente durante o ensaio. Esse fato pode ser percebido nos gráficos anteriores.

O colapso da mesa 2 durante este ensaio é ilustrado nas fotos da figura 4.85.

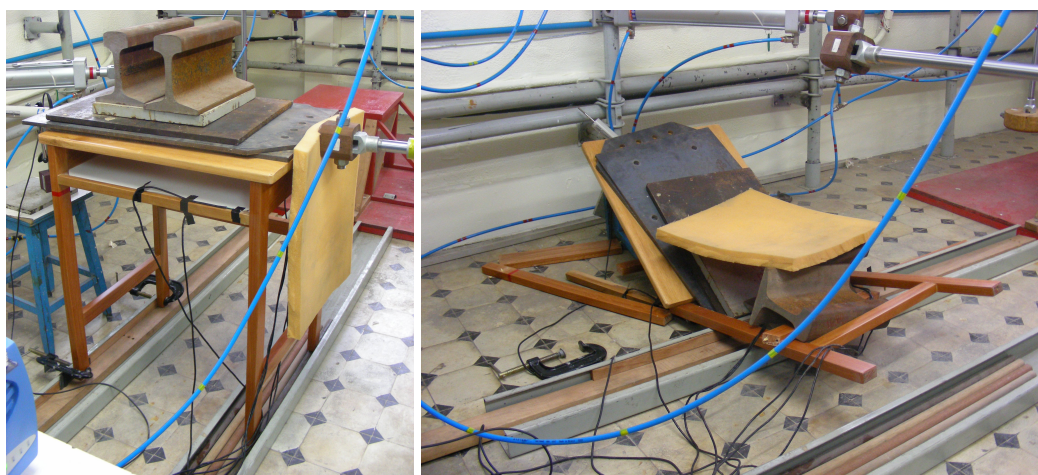


Figura 4.85 Foto da mesa 2 antes e após ensaio 6.3.3

Como este ensaio pretende simular o esforço proveniente do arrastamento do móvel, este deveria ser como o ensaio de ponteiros de cadeiras. Assim, além de se transformar em um ensaio dinâmico e, portanto, mais coerente com a realidade, ficaria assegurada a avaliação das ligações dos pés com as travas.

#### **4.4.1.12 Ensaio de impacto vertical no tampo da mesa (6.3.4)**

Como no proposto para as cadeiras, o ensaio de cargas de impacto vertical em mesas escolares consiste em sujeitar o tampo a cargas que simulem o ato de pular sobre a mesa, ou situações similares a essa, utilizando a almofada de impacto. A almofada deve cair livremente, por 10 vezes, de uma altura de 240mm no centro geométrico do tampo (parte 1) e no centro da lateral com maior vão (parte 2).

Foi realizado esse ensaio apenas com a mesa 1 já que a mesa 2 foi totalmente destruída no ensaio anterior.

O tempo de duração do ensaio de aplicação de carga no meio do tampo da mesa (parte 1) foi de 1 minuto e 15 segundos, contando somente o tempo do ensaio, sem levar em consideração o tempo de preparação da mesa e posicionamento da almofada de aplicação de carga. Houve 11 impactos, sendo que o terceiro não foi válido. Não houve dano aparente.

Já o ensaio de aplicação de carga na borda do tampo da mesa (parte b) durou aproximadamente 2 minutos. Neste também houve 11 impactos, sendo que o primeiro não foi válido. Não houve dano aparente.

As figuras 4.86 a 4.89 e as tabelas 4.52 a 4.57 apresentam-se com os resultados dos ensaios e comportamento da estrutura da mesa.

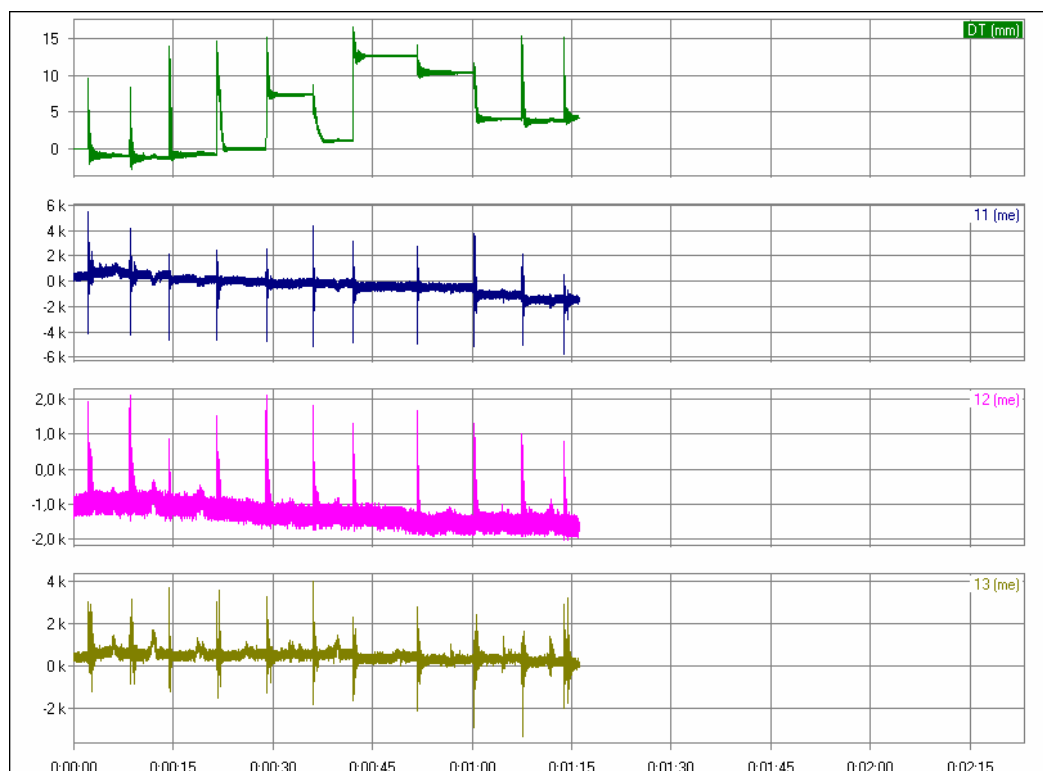


Figura 4.86 Gráfico deformação x tempo. DTs e extensômetros – mesa 1 – ensaio 6.3.4a ( $k=10^3$ )

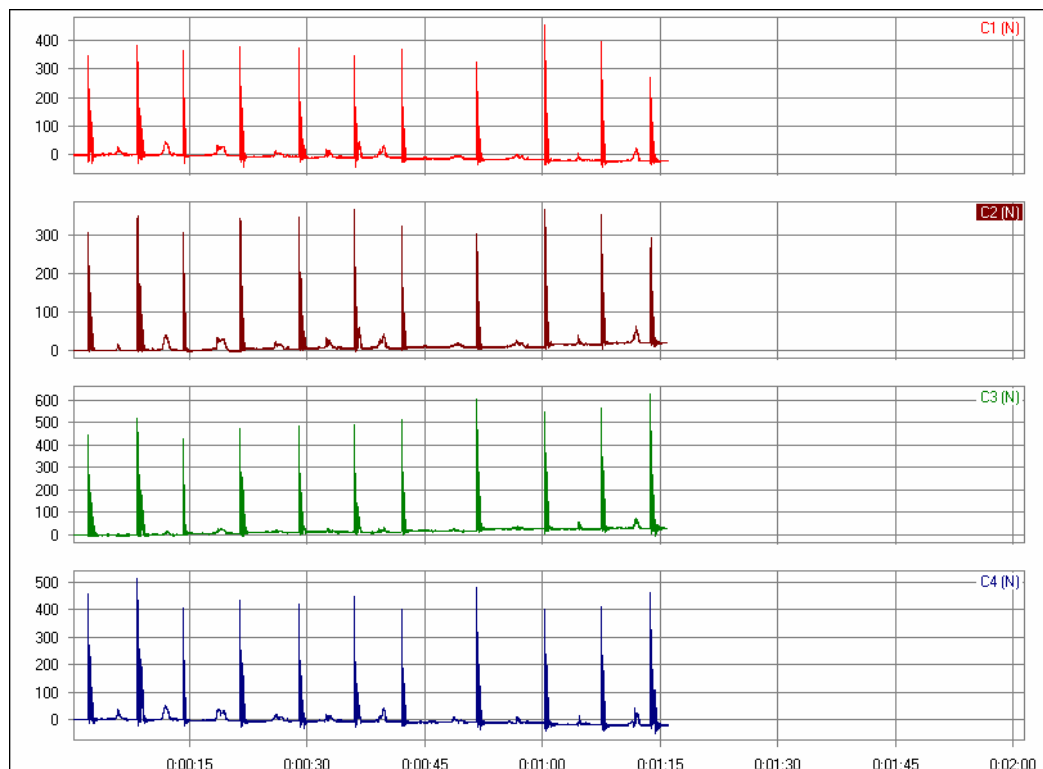


Figura 4.87 Gráfico carga x tempo. Células de carga – mesa 1 – ensaio 6.3.4a

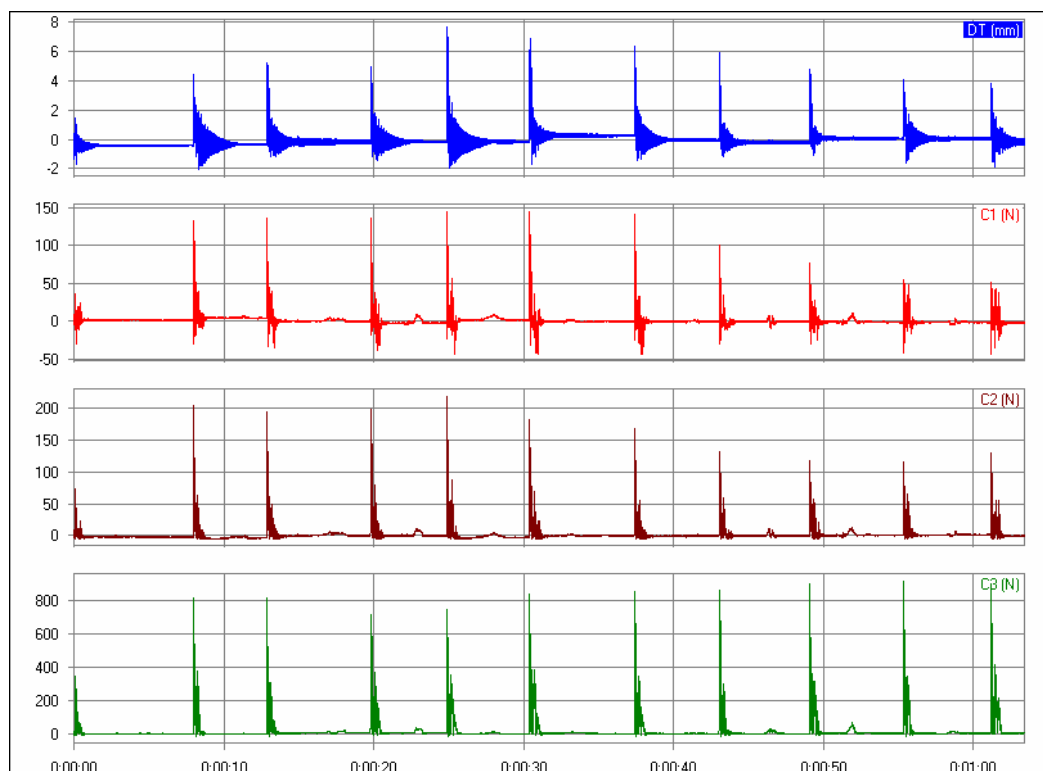


Figura 4.88 Gráfico deformação x tempo. DTs e extensômetros – mesa 1 – ensaio 6.3.4b

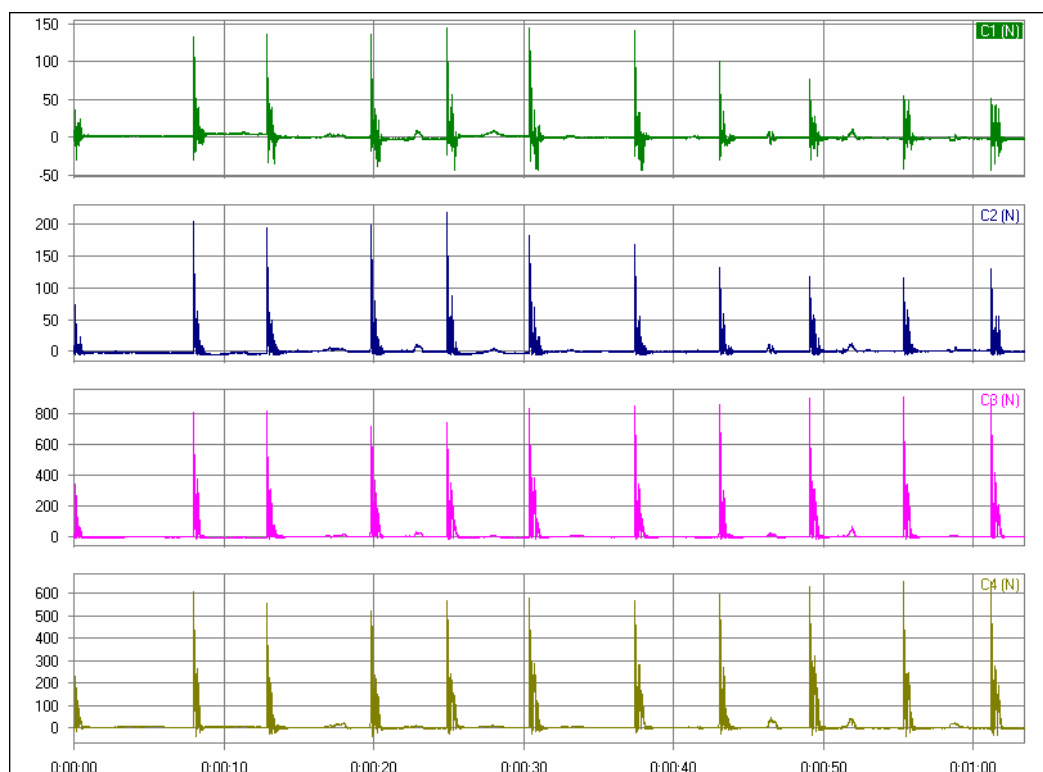


Figura 4.89 Gráfico carga x tempo. Células de carga – mesa 1 – ensaio 6.3.4b

TABELA 4.52

Valores médios dos deslocamentos - DTs - Ensaio 6.4.4a (mesa 1 espiga)

DT	1º impacto	2º impacto	3º impacto	4º impacto	5º impacto	6º impacto	7º impacto	8º impacto	9º impacto	10º impacto	11º impacto
DT1	3,04	2,15	-	1,59	2,93	7,13	3,06	12,66	10,37	5,42	6,37

TABELA 4.53

Valores médios da deformação e de tensão - Extensômetros - Ensaio 6.4.4a

Mesa 1a (espiga)	1º impacto		2º impacto		3º impacto		4º impacto		5º impacto	
Extensômetro	deformação (x10 <sup>-6</sup> )	tensão (MPa)	deformação (x10 <sup>-6</sup> )	tensão (MPa)	deformação (x10 <sup>-6</sup> )	tensão (MPa)	deformação (x10 <sup>-6</sup> )	tensão (MPa)	deformação (x10 <sup>-6</sup> )	tensão (MPa)
E1	2760,88	0,49	782,62	0,14	-	-	391,32	0,07	543,49	0,10
E2	1904,67	0,34	1857,05	0,33	-	-	1523,71	0,27	2047,52	0,37
E3	1600,00	0,29	1120,00	0,20	-	-	160,00	0,03	-160,00	-0,03

Mesa 1a (espiga)	6º impacto		7º impacto		8º impacto		9º impacto		10º impacto		11º impacto	
Extensômetro	deformação (x10 <sup>-6</sup> )	tensão (MPa)	deformação (x10 <sup>-6</sup> )	tensão (MPa)	deformação (x10 <sup>-6</sup> )	tensão (MPa)	deformação (x10 <sup>-6</sup> )	tensão (MPa)	deformação (x10 <sup>-6</sup> )	tensão (MPa)	deformação (x10 <sup>-6</sup> )	tensão (MPa)
E1	1000,01	0,18	260,88	0,05	86,97	0,02	-260,86	-0,05	-586,94	-0,10	-804,33	-0,14
E2	1666,57	0,30	1095,14	0,20	1571,33	0,28	1285,62	0,23	999,90	0,18	714,19	0,13
E3	-1040,00	-0,19	-440,00	-0,08	-440,00	-0,08	240,00	0,04	-400,00	-0,07	-1120,00	-0,20

TABELA 4.54

Valores parciais e somatório total de carga no impacto – Células de carga - Ensaio 6.4.4a

<b>Mesa 1a (espiga)</b>	<b>1° impacto</b>	<b>2° impacto</b>	<b>3° impacto</b>	<b>4° impacto</b>	<b>5° impacto</b>	<b>6° impacto</b>	<b>7° impacto</b>	<b>8° impacto</b>	<b>9° impacto</b>	<b>10° impacto</b>	<b>11° impacto</b>
C1	344,64	382,84	-	375,95	370,78	345,64	369,77	321,66	455,36	393,75	267,67
C2	300,49	342,49	-	344,61	347,73	367,46	322,76	302,48	366,89	354,69	267,01
C3	441,89	515,02	-	486,61	486,61	488,07	513,13	605,35	548,97	564,85	628,80
C4	454,19	513,70	-	420,45	420,45	448,21	400,80	482,24	399,94	412,33	464,16
<b>Total</b>	<b>1541,21</b>	<b>1754,05</b>	<b>-</b>	<b>1627,62</b>	<b>1625,57</b>	<b>1649,38</b>	<b>1606,46</b>	<b>1711,73</b>	<b>1771,16</b>	<b>1725,62</b>	<b>1627,63</b>

TABELA 4.55

Valores médios dos deslocamentos - DTs - Ensaio 6.4.4b (mesa 1 espiga)

<b>DT</b>	<b>1° impacto</b>	<b>2° impacto</b>	<b>3° impacto</b>	<b>4° impacto</b>	<b>5° impacto</b>	<b>6° impacto</b>	<b>7° impacto</b>	<b>8° impacto</b>	<b>9° impacto</b>	<b>10° impacto</b>	<b>11° impacto</b>
DT1	-	0,79	0,29	0,55	1,04	1,12	1,38	1,00	0,64	1,14	1,00

TABELA 4.56  
Valores médios da deformação e de tensão - Extensômetros - Ensaio 6.4.4b

Mesa 1a (espiga)	1º impacto		2º impacto		3º impacto		4º impacto		5º impacto	
Extensômetro	deformação (x10 <sup>-6</sup> )	tensão (MPa)	deformação (x10 <sup>-6</sup> )	tensão (MPa)	deformação (x10 <sup>-6</sup> )	tensão (MPa)	deformação (x10 <sup>-6</sup> )	tensão (MPa)	deformação (x10 <sup>-6</sup> )	tensão (MPa)
E1	-	-	-499,97	-0,09	-386,33	-0,07	-227,24	-0,04	-249,97	-0,04
E2	-	-	3260,89	0,58	3086,98	0,55	3130,46	0,56	3217,41	0,57
E3	-	-	-1000,00	-0,18	-840,00	-0,15	-2520,00	-0,45	-1560,00	-0,28

Mesa 1a (espiga)	6º impacto		7º impacto		8º impacto		9º impacto		10º impacto		11º impacto	
Extensômetro	deformação (x10 <sup>-6</sup> )	tensão (MPa)	deformação (x10 <sup>-6</sup> )	tensão (MPa)	deformação (x10 <sup>-6</sup> )	tensão (MPa)	deformação (x10 <sup>-6</sup> )	tensão (MPa)	deformação (x10 <sup>-6</sup> )	tensão (MPa)	deformação (x10 <sup>-6</sup> )	tensão (MPa)
E1	-363,60	-0,06	-659,06	-0,12	45,49	0,01	-22,69	0,00	-295,42	-0,05	-568,15	-0,10
E2	2913,07	0,52	2782,63	0,50	2347,85	0,42	2043,50	0,36	2304,37	0,41	2434,80	0,43
E3	-1560,00	-0,28	-960,00	-0,17	-1560,00	-0,28	-600,00	-0,11	360,00	0,06	400,00	0,07

TABELA 4.57  
Valores parciais e somatório total de carga no impacto – Células de carga - Ensaio 6.4.4b

Mesa 1a (espiga)	1º impacto	2º impacto	3º impacto	4º impacto	5º impacto	6º impacto	7º impacto	8º impacto	9º impacto	10º impacto	11º impacto
C1	-	131,27	132,85	131,41	142,18	141,32	134,57	100,39	76,12	54	51
C2	-	187,97	167,11	174,21	197,05	162,29	138,03	115,04	96,18	109	116
C3	-	802,87	785,68	709,92	746,20	833,17	830,70	858,96	885,33	914	878
C4	-	610,09	555,28	523,10	565,81	580,48	570,09	598,56	2043,50	654	651
<b>Total</b>	-	<b>1732,20</b>	<b>1640,92</b>	<b>1538,64</b>	<b>1651,24</b>	<b>1717,26</b>	<b>1673,38</b>	<b>1672,96</b>	<b>3101,13</b>	<b>1730,22</b>	<b>1696,03</b>

Os valores lidos pelos extensômetros se mantiveram praticamente constantes e os valores de tensão foram bem baixos quando comparados ao da tensão de ruptura. A média da somatória da carga de impacto no tampo foi de 1815N, o que representa uma carga 7,26 maior que o peso da almofada de impacto.

Houve um acréscimo nos valores lidos pelo DT, no primeiro ensaio (a), em função de um deslocamento residual, o que não aconteceu no segundo ensaio (b). Mesmo assim, o maior valor lido foi de 12,66mm, inferior aos 24mm de deflexão máxima permitido pela norma.

#### **4.4.1.13 Ensaio de fadiga horizontal da mesa (6.3.6)**

Apesar de não existir os procedimentos deste ensaio, no escopo da norma e apenas sua citação na tabela 3 da página 11 da NBR 14006/2003, foi feita uma consulta ao Regulamento da Qualidade Técnica de Móveis Escolares, Portaria 177 do Inmetro, no qual se verificou a metodologia que deveria ser adotada.

Dessa maneira, o ensaio de fadiga horizontal de mesas escolares consiste em sujeitar o tampo desses móveis a uma carga de 150N. Essa carga é aplicada por 30.000 ciclos em pontos localizados nas bordas da mesa, a 50mm dos cantos. Uma massa de balanceamento de 1000N é distribuída uniformemente sobre o tampo, para o caso de a mesa tender ao tombamento. Deve-se prevenir o movimento dos pés com o uso de travas em todas as direções ao redor da mesa.

O ensaio com a mesa 1 durou 33 horas e 35 minutos. O valor de leitura dos extensômetros 12 e 13 começou crescente e depois de 16 horas se estabilizou. No início do segundo dia, esse voltou a crescer até o fim do ensaio. Não houve dano aparente. A seguir, a figura 4.90 e a tabela 4.58 apresentam os resultados do ensaio.

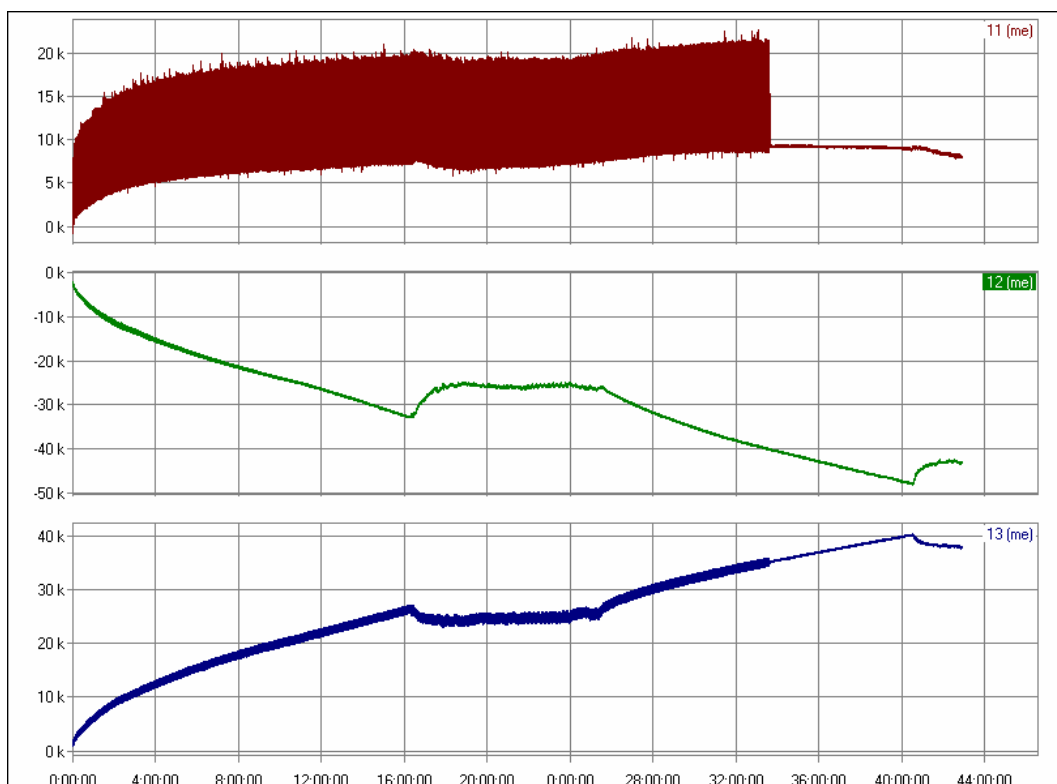


Figura 4.90 Gráfico deformação x tempo. Extensômetros - mesa 1 - ensaio 6.3.6

TABELA 4.58

Valores médios da deformação e de tensão - Extensômetros - Ensaio 6.3.6

	<b>Mesa 1 (espiga)</b>	
<b>Extensômetro</b>	<b>deformação (<math>\times 10^{-6}</math>)</b>	<b>tensão (MPa)</b>
E11	14539,40	2,60
E12	-37886,12	-6,77
E13	34083,84	6,09

Os valores de tensão lidos correspondem a aproximadamente 10% do valor de ruptura do material usado: *Eucalyptus grandis*.

#### 4.4.2 Discussões Sobre a NBR 14006/2003

Com a leitura detalhada da NBR 14006/2003 e de sua atualização - a NBR 14006/2008 - , percebem-se indefinições no texto da norma, tanto de valores de carregamento (NBR

14006/2003) quanto do tempo de aplicação de carga (NBR 14006/2003 e NBR 14006/2008). Mesmo assim, existem ensaios que conseguem ir ao encontro do objetivo inicialmente proposto, que é avaliar a resistência e a estabilidade dos móveis escolares.

O critério adotado na discussão da NBR 14006/2003 e NBR 14006/2008 parte do entendimento de que o modelo de verificação do desempenho do móvel escolar deve ser capaz de representar o “cotidiano” desse móvel, uma vez que, somente conhecendo essa realidade (anexo A) - uso, manutenção e vida útil - é possível determinar parâmetros para uma metodologia de ensaios.

Sendo assim, os ensaios de carga estática no assento e no encosto, bem como o ensaio de resistência a esforços em uma perna frontal e o ensaio do apoio para pés de cadeiras escolares poderiam ser retirados da norma por não estarem em acordo com o dia-a-dia desse mobiliário, lembrando-se que o ato de assentar é uma atividade dinâmica e não estática (Paoliello, 2001). Além disso, os valores de tensão registrados nesses ensaios foram inferiores ao valor de ruptura, representando, em média, cerca de 1,5% deste.

Já os ensaios de fadiga no assento e no encosto da cadeira são procedimentos mais coerentes. Verificou-se que os valores de tensão aumentavam gradativamente com o passar do tempo de ensaio e houve casos de ensaios que se estabilizaram a partir de um determinado período de tempo. Estudos mais aprofundados deveriam ser realizados para estipular a quantidade de ciclos que cada ensaio deveria ter e se os valores de carga deveriam ser constantes ou acrescidos a cada período de ciclo, conforme sugerido por Eckelman (1988).

Nos ensaios de fadiga, questiona-se o valor do carregamento adotado: 950N no primeiro e 330N no segundo. Na verdade, o valor da força aplicada deveria ser obtido a partir da observação de quem utiliza esse mobiliário.

É necessário identificar características como o peso dos usuários, para estabelecimento dos valores de carga real de trabalho. Além disso, o tipo de carga, sua intensidade, o

valor mínimo de carga requerido em função do desempenho esperado também devem ser fatores identificados para definição dos tipos de ensaios de estabilidade e de resistência e formulação de critérios de avaliação do mobiliário escolar.

Ferreira, M. (2001) aborda o estudo de critérios técnico-funcionais para qualificação de mobiliário escolar, estabelecendo um rol de informações acerca dos usuários desse produto, utilizando como ferramenta os conhecimentos do campo da ergonomia do produto. A partir de tratamento estatístico do levantamento de peso e altura de 6319 alunos, apresentam-se os dados encontrados, aqui utilizados para contestação dos valores de carga aplicados na norma, tabela 4.59.

Avaliar a distribuição do peso do corpo (verificando a intensidade e a área de contato) e o tipo de postura empregado (e suas variações, uma vez que o movimento é sinal de alívio da sensação de desconforto causada pelo ato) são pontos importantes que foram definidos em Paoliello (2001). Resumidamente, a porcentagem máxima atuante nos elementos estruturais de uma cadeira é de 55% do valor do peso do usuário para o encosto e 205% para o assento (Paoliello, 2001: p.166). Basear nesses percentuais é importante para a determinação das forças de ensaio para cadeiras escolares.

TABELA 4.59

Sugestão para determinação das forças de ensaio em cadeiras e mesas escolares

Série	Altura* (mm)	Identificação do tamanho (NBR14006/2003)	Peso* (N)	Carga de ensaio - assento (N)	Carga de ensaio – encosto (N)
Jardim Fundamental	-	1 (até 1000 mm)	< 390	800	215
	1 <sup>a</sup>	1200 1250	390 411	820	220
	2 <sup>a</sup>	1300	480	1125	301
	3 <sup>a</sup>	1360	510		
	4 <sup>a</sup>	1420	572,5		
	5 <sup>a</sup>	1470	630	1500	400
6 <sup>a</sup>	1550	709,2			
7 <sup>a</sup>	1600	750			
Médio	8 <sup>a</sup>	1650	819,2	1675	450
	1 <sup>a</sup>	1670	800		
	2 <sup>a</sup>	1660	810		
	3 <sup>a</sup>	1680	839		
	1840	6 (acima de 1800 mm)	>839	1720	460

Fonte: \*Adaptado de Ferreira, M. (2001), síntese percentil 95

Os valores de carga para os ensaios em assentos e encostos escolares, apresentados na tabela 4.59, são valores médios (levando em consideração os pesos de cada tamanho) e foram arredondados.

Vale ressaltar a importância de se estabelecer parâmetros específicos por faixas etárias de utilização uma vez que se percebe o uso dos móveis escolares por diversos usuários (normalmente, crianças na parte da manhã, adolescentes no período da tarde e adultos à noite). Segundo Linton et al (1994), as crianças passam cerca de 30% de seu dia nas escolas e, de acordo com Knight e Noyes (1999), as crianças do primário ficam apenas

37,2% do tempo assentadas em sala enquanto as crianças com 8 e 9 anos ficam 66,67% do tempo nessa posição e os adolescentes ficam 78,7%.

Sendo assim, percebe-se que os valores atualmente utilizados pela NBR 14006/2003 são inferiores aos estabelecidos acima, ficando aqui a sugestão de alterá-los nos ensaios de fadiga no assento e no encosto.

Vale ressaltar mais uma vez que os ensaios de queda (queda da cadeira e da mesa e impacto na concha da cadeira e desmontagem da estrutura) são questionáveis e deveriam ser eliminados, pois remetem ao vandalismo e a norma não deveria assegurar usos não previstos e/ou abusivos.

Contudo, para o ensaio de impacto no assento de cadeiras e o ensaio de impacto vertical no tampo de mesas escolares, seria interessante que o peso máximo de cada faixa de estatura descrita na tabela anterior fosse utilizado, representando assim realmente uma criança pulando nesse elemento estrutural. É fácil perceber que, quanto mais alto a criança pular, maior será o valor da força atuante; então um valor limite da altura em 520mm (diferença entre a altura máxima do tampo de uma mesa - 770mm - e a altura mínima de uma cadeira - 250mm) seria representativo para o ensaio de impacto no assento da cadeira.

O ensaio das ponteiras, apesar da dificuldade de realização, é importante uma vez que simula uma situação real e comum desse móvel e assegura a resistência das ligações entre pés e travas. Fica apenas a sugestão de alteração do valor da massa de balanceamento que deveria ser de acordo com a massa de cada tamanho de cadeira, como apresentado na tabela 4.59.

O ensaio do apoio para os pés deveria continuar a ser conforme o procedimento descrito na norma, uma vez que o apoiar nesse elemento estrutural, ato aqui simulado, é uma atividade rápida e estática. Discutem-se apenas os valores apresentados que deveriam estar em acordo com as massas apresentadas na tabela 4.59, ficando a sugestão de que,

para cada tamanho de cadeira, um determinado valor seja utilizado e que este seja coerente com o peso do aluno usuário desse mobiliário. Vale ressaltar que esse ensaio deveria também ser realizado com as travas inferiores das mesas escolares já que estas também podem servir de escada, como os apóia-pés.

No caso de mesas escolares, seu uso difere do das cadeiras, podendo ser classificado muito mais como uma atividade estática que dinâmica. Dessa maneira, o ensaio de carga estática no tampo de mesas escolares é importante, e o valor adotado deveria ser o também proposto na tabela 4.59, levando-se em conta cada tamanho, uma vez que o tampo desse móvel pode ser usado como cadeira.

Conforme já explicado, o ensaio de cargas horizontais de mesas escolares pretende simular o esforço proveniente do arrastamento do móvel e deveria ser como o ensaio de ponteiros de cadeiras. Assim, além de se transformar em um ensaio dinâmico e, portanto, mais coerente com a realidade, ficaria assegurada a avaliação das ligações dos pés com as travas.

Por fim, ao final dos ensaios propostos pela NBR 14006/2003 e NBR 14006/2008, foi possível avaliar a resistência dos protótipos, a magnitude das tensões que ocorrem durante a aplicação das cargas, o desempenho do material e das ligações utilizadas, conforme explicado e de acordo com os objetivos deste estudo.

# 5

## CONCLUSÃO E RECOMENDAÇÕES

O uso de um conjunto-aluno confortável e seguro contribui, indubitavelmente, para a melhoria da qualidade de vida dos usuários e, possivelmente, colabora para o aumento no rendimento escolar.

Compreender a maneira como os móveis escolares são usados e conseguir avaliar essa realidade a partir de ensaios de resistência e estabilidade é garantir uma maior durabilidade e segurança desses objetos e uma melhoria na qualidade de vida dos alunos.

Vale ressaltar que o design de móveis é apenas um aspecto de um problema multidisciplinar, devendo ser observado também fatores como espaço físico, organização escolar, além da prática pedagógica adotada.

Nesta pesquisa, um procedimento de projeto integrado foi criado; a equipe de designers e dos engenheiros teve que trabalhar conjuntamente, com a vantagem de cada especialidade e conhecimento visando assegurar a boa qualidade e o controle adequado

do produto. O trabalho realizado pela equipe multidisciplinar favoreceu o desenvolvimento do protótipo, transformando este estudo numa rica experiência.

Vale dizer que as necessidades e preferências dos usuários foram levadas em consideração durante o processo de desenvolvimento do produto e, não obstante, a carteira escolar teve que ser adaptada ao cenário brasileiro: medidas antropométricas e aspectos sociais, econômicos e culturais.

Em termos de avaliação estrutural de móveis, o Brasil está apenas começando e que o não-conhecimento dessas questões retarda de maneira significativa a evolução e a consolidação efetiva do móvel brasileiro junto a questões referentes à qualidade e aos fatores econômicos.

Foi constatado também que a qualidade estrutural de um móvel em madeira está diretamente relacionada ao desempenho de suas ligações e que a escolha de uma ligação entre peças de madeira envolve diversos aspectos, destacando-se os seguintes fatores: resistência do material, durabilidade, custos, facilidade de execução e aspectos estéticos. Desta maneira, percebe-se que o conhecimento do comportamento estrutural das ligações favorece a tomada de decisões em projetos, contribuindo para o design de móveis de madeira.

Sendo assim, foram avaliadas experimental e numericamente as influências das dimensões adotadas (influência do diâmetro e o comprimento de embutimento da cavilha e da altura e comprimento de embutimento da espiga), do material usado (influência das propriedades físicas e mecânicas das madeiras de reflorestamento *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus cloeziana*) e do tipo de adesivo adotado - PVA e Cascamite.

Os resultados experimentais mostraram que com o aumento do comprimento de embutimento da cavilha ocorre um aumento da resistência dessa ligação, e que o aumento do comprimento de embutimento e da altura da espiga acarreta um aumento da

resistência e rigidez dessa ligação. Os resultados dos ensaios indicaram também que a rigidez rotacional foi maior na ligação que utilizou madeiras com valores de resistência maiores e adesivo Cascamite. Esta avaliação foi constatada tanto para a ligação com espiga quanto para a ligação com cavilhas.

Já por meio da avaliação teórica, foi possível formular equações de regressão para o cálculo do momento de ruptura, do momento no limite de proporcionalidade e da rigidez rotacional de ligações cavilhadas e das espigadas. As equações obtidas são confiáveis estatisticamente e os coeficientes de determinação encontrados são bastante significativos.

Vale ressaltar a introdução da carga no limite de proporcionalidade ( $C_{LP}$ ) como um novo parâmetro na avaliação entre os resultados obtidos com a ligação cavilhada e a espigada. As referências bibliográficas existentes na área de avaliação de móveis de madeira não adotam este parâmetro, sendo ele importante por se tratar do ponto limite da relação linear entre a carga e o deslocamento. Após esse limite, dá-se início à zona plástica, onde não há mais relação linear entre carga e deslocamento.

A análise numérica e a otimização das ligações foram os processos utilizados para alcançar a minimização do consumo de material e a garantia de que as tensões atuantes não ultrapassariam valores aceitáveis de segurança do material. Sendo que a modelagem aqui apresentada mostrou-se eficiente como solução de engenharia, apresentando resultados próximos ao sugeridos previamente pela equipe de design e marceneiros.

Os módulos de elasticidade  $E$  dos materiais de interface madeira-adesivo que proporcionaram o melhor comportamento do modelo numérico foram:  $8,25 \times 10^6 \text{ N/m}^2$  para PVA e *Eucalyptus grandis*;  $9,50 \times 10^6 \text{ N/m}^2$  para Cascamite e *Eucalyptus grandis*;  $2,15 \times 10^7 \text{ N/m}^2$  para PVA e *Eucalyptus cloeziana*, e  $2,50 \times 10^7 \text{ N/m}^2$  para Cascamite e *Eucalyptus cloeziana*.

Destacam-se, por fim, as falhas ocorridas nos móveis com ligações cavilhadas. Acredita-se que a ruptura destas ligações ocorreu em função da pequena trabalhabilidade desta ligação e das diversas variáveis que alteram o valor de resistência dessas ligações, como folga entre o furo da cavilha e seu diâmetro, quantidade de cola usada, além do diâmetro e comprimento de embutimento já previamente discutidos.

Quanto à avaliação da estrutura de móveis escolares quando submetida às ações propostas nos ensaios de resistência e durabilidade da NBR 14006/2003 e da NBR 14006/2008, verificou-se que os valores de tensão nas ligações e elementos estruturais da cadeira e da mesa escolares avaliadas foram menores que os valores de ruptura do material usado *Eucalyptus grandis*.

Ressalta-se que o intuito foi avaliar a norma brasileira para móveis escolares NBR 14006/2003 e NBR 14006/2008, e as diretrizes e estratégias usadas nesta discussão basearam-se na garantia da segurança dos usuários e no desempenho, durabilidade e resistência dos elementos estruturais avaliados.

Sugere-se a continuidade nas exigências normativas dos ensaios: de fadiga no assento e no encosto da cadeira; de impacto no assento e encosto de cadeiras; de impacto vertical no tampo de mesas escolares; de ponteiros de cadeiras escolares; do apoio para os pés; de carga estática no tampo de mesas escolares; de cargas horizontais de mesas escolares; com as devidas considerações já apresentadas no corpo desta pesquisa. Recomenda-se a retirada dos ensaios de: carga estática no assento e no encosto, resistência a esforços em uma perna frontal de cadeiras escolares; queda da cadeira e da mesa e impacto na concha da cadeira e desmontagem da estrutura, por não estarem de acordo com o dia-a-dia desse mobiliário.

Ressalta-se ser necessário identificar características como o peso dos usuários, para estabelecimento dos valores de carga real de trabalho, conforme proposto na discussão dos resultados dos ensaios de resistência realizados. Além disso, o tipo de carga, sua intensidade, o valor mínimo de carga requerido em função do desempenho esperado

também devem ser fatores identificados para definição dos tipos de ensaios de resistência e formulação de critérios de avaliação do mobiliário escolar.

Ensaio em estudos futuros poderiam ser realizados com esses novos valores de carga propostos, de maneira a analisar os protótipos dos móveis escolares aqui avaliados.

Vale destacar também que esta pesquisa contribuiu para a consolidação do Laboratório de Conformidade de móveis do Centro de Pesquisa Avançada de Móveis, Madeiras e Novos Materiais da escola de Engenharia. Departamento de Estruturas, UFMG, uma vez que todos os ensaios foram realizados neste local.

Para continuidade dos trabalhos, recomenda-se ainda encaminhar os ensaios dos móveis até à ruptura das amostras com vistas à determinação efetiva de seus respectivos limites de colapso estrutural, além da realização de novos estudos para estipular a quantidade de ciclos que cada ensaio deveria ter e se os valores de carga deveriam ser constantes ou acrescidos a cada período de ciclo.

Por fim, sugere-se também um estudo mais minucioso com a utilização de outras espécies de madeira para se entender melhor o comportamento da interface madeira-adesivo, possibilitando construir um modelo numérico mais realista da ligação.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AAGAARD-HANSEN, J.; STORR-PAULSEN. A comparative study of three different kinds of school furniture. **Ergonomics**, v. 38, p.1025-1035. 1995.

ABRAHÃO, J. I. Reestruturação Produtiva e Variabilidade do trabalho: uma abordagem da Ergonomia. **Psicologia: Teoria e Pesquisa**, v. 16, n. 1, p. 49-54. 2000.

ACKAY, H; ECKELMAN, C. A; HAVIAROVA. Withdrawal, shear, and bending moment capacities of round mortise and tenon timber framing joints. **Forest Products Journal**, West Lafayette, v. 55, n. 6, p.60-67, jun. 2005.

ALVES, Eduardo José Wilke. **Projeto AVALOR - Mecanismos para o Desenvolvimento de Produtos Madeireiros de Alto Valor Agregado**. Belo Horizonte: Universidade Federal de Minas Gerais, 2004. 113p. (Relatório final da Bolsa de Desenvolvimento Tecnológico Industrial).

ARGAN, Giulio Carlo. **Projeto e Destino**. Tradução de Marcos Bagno. São Paulo: Editora Ática, 2001.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, Rio de Janeiro. **NBR 14006: Móveis escolares - Assentos e mesas para instituições educacionais – Classes e dimensões.** Rio de Janeiro, 2003. 26p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, Rio de Janeiro. **NBR 14006: Móveis escolares - Assentos e mesas para instituições educacionais – Classes e dimensões.** Rio de Janeiro, 2008. 30p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, Rio de Janeiro. **NBR 14007: Móveis escolares - Assentos e mesas para instituições educacionais – requisitos.** Rio de Janeiro, 1997. 4p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, Rio de Janeiro. **NBR 7190: Cálculo e Execução de Estruturas de Madeira.** Rio de Janeiro, 1997. 107p.

BAIÃO, Luscinia Maria Ribeiro. **Contribuição ao Estudo de Ligações em Estruturas de Madeira.** Belo Horizonte: UFMG, 1997. 153p. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Estruturas, Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 1997.

BENDIX, T. Adjustment of the seated workplace—with special reference to heights and inclinations of seat and table. **Dan. Med. Bull**, v. 34, n. 3, p.125–139. 1987.

BREMER, Cyanra Fiedler. **Ligações com tubos galvanizados em madeira laminada colada de Eucalipto Grandis, solicitadas a momento fletor e força cortante.** Belo Horizonte: UFMG, 1999. 210p. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Estruturas, Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 1999.

BRITISH STANDARDS INSTITUTION, Londres. **BS 5873 - Educational Furniture.**

**Part 1. Specification for functional dimensions, identification and finish of chairs and tables for educational institutions.** Londres, 1980. 8p.

BRITISH STANDARDS INSTITUTION, Londres. **BS 5873 - Educational Furniture.**

**Part 2. Specification for strength stability of chairs for educational institutions.** Londres, 1991. 18p.

BRITISH STANDARDS INSTITUTION, Londres. **BS 5873 – Educational Furniture.**

**Part 3. Specification for strength stability of tables for educational institutions.** Londres, 1985. 14p.

BRITISH STANDARDS INSTITUTION, Londres. **BS EN 1730 – Domestic furniture – tables – tests methods for determination of strength, durability and stability.**

Londres, 2000. 16p.

BRITISH STANDARDS, Londres. **BS EN 1022 – Domestic furniture – seating – determination of stability.** Londres, 1996. 14p.

BODIG, J.; JAYNE, B. **Mechanics of wood and wood composites.** NY: Van Nostrand Reinhold, 1982.

CARRASCO, Edgar V. Mantilla. Ligações de peças estruturais de madeira por pregos.

In: ENCONTRO BRASILEIRO EM MADEIRAS E EM ESTRUTURAS DE MADEIRA, 1, 1983, São Carlos. **Anais...** São Carlos: EBRAMEM, 1983, 48p.

CARRASCO, Edgar V. Mantilla. **Ligações estruturais de madeira por adesivos.** São Carlos: EESC/USP, 1984. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Estruturas, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade São Paulo, São Carlos, 1984.

- CARRASCO, E. V. M. **Caracterização tecnológica da madeira de Eucalyptus cloeziana e Eucalyptus saligna cultivados em Minas Gerais**. Relatório de pesquisa apresentado a FAPEMIG, PPOC EDT 1848-02, Belo Horizonte, MG 2004.
- CARRASCO, E. V. M. **Mecanismos para o desenvolvimento de produtos madeiros de alto valor agregado - AVALOR- Arranjos Produtivos Locais/MCT**. Relatório de pesquisa apresentado a Finep, CNPq, Belo Horizonte, MG, 2005.
- CARRASCO, E. V. M.; PAOLIELLO, C.; PEREIRA, M. V.; GONÇALVES, M. A. B.; TEIXEIRA, R. S. Análise Experimental e Numérica de Elementos Estruturais Moveleiros: Um Estudo Sobre Respigas. In: JORNADAS SULAMERICANAS DE ENGENHARIA ESTRUTURAL, XXXII, 2006a, Campinas. **Anais...** Campinas: UNICAMP, 2006a.
- CARRASCO, E. V. M.; PAOLIELLO, C.; PEREIRA, M. V.; GONÇALVES, M. A. B.; TEIXEIRA, R. S. Análise Experimental e Numérica de Ligações para Móveis de Madeira: Um Estudo Sobre Cavilhas. In: ENCONTRO BRASILEIRO EM MADEIRAS E EM ESTRUTURAS DE MADEIRA, 10, 2006b, São Pedro. **Anais...** São Pedro: EBRAMEM, 2006b.
- CETEMO/SENAI. A madeira de eucalipto na indústria moveleira. In: SEMINÁRIO INTERNACIONAL SOBRE PRODUTOS SÓLIDOS DE MADEIRA DE ALTA TECNOLOGIA, ENCONTRO SOBRE TECNOLOGIAS APROPRIADAS DE DESDOBRO, SECAGEM E UTILIZAÇÃO DA MADEIRA DE EUCALIPTO, 1, 1998, Belo Horizonte. **Anais...** Viçosa: SIF/UFV/DEF, 1998. p.191-195.
- CORLETT, E. N. Are you sitting comfortably? **Int. J. Ind. Ergon**, v. 24, n. 1, p. 7-12. 1999.

COSTA, E. M. A madeira de Eucalipto na indústria moveleira. In: SEMINÁRIO SOBRE PROCESSAMENTO E UTILIZAÇÃO DA MADEIRA DE REFLORESTAMENTO, 1996. Curitiba. **Anais...** Curitiba: APM/SBS, 1996. p.75-89.

COSTA, Flávia Nacif da. **Uma reflexão sobre o design como reativador da experiência espacial.** 2004. Textos Especiais - Vitruvius. Disponível em: <<http://www.vitruvius.com.br/arquitextos/arq000/esp220.asp>> Acesso em 20 mar. 2004.

CRESPO OLIVEIRA, A. L. **Contribuição para a análise de vigas mistas de madeira laminada colada e concreto (MLC/concreto).** Belo Horizonte: EEUFMG, 2002. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Estruturas, Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2002.

CUSHMAN, W.; ROSENBERG, D. Human Factors in Product Design. In: SALVENDY, Gavriel (Ed.). **Series: Advances in Human Factors/Ergonomics.** Amsterdam Holland: Elsevier. 1991.

DAYRELL, Juarez (Org.). A Escola como Espaço Sócio-cultural. In: \_\_\_\_\_. **Múltiplos olhares sobre Educação e Cultura.** Belo Horizonte: Editora UFMG, 1996. p 136-161.

DE PAULA, Fernando Amorim; RIBEIRO, G. O.; GONÇALVES, Marco Antônio Brugiolo; TEIXEIRA, Ricardo Santos; PITANGUEIRA, Roque Luiz da Silva. Otimização de Elementos Estruturais Moveleiros. In: PROCEEDINGS OF THE IBERIAN LATIN-AMERICAN CONGRESS ON COMPUTATIONAL METHODS IN ENGINEERING, XXVI, 2005. Guarapari. **Anais...** Guarapari: CILAMCE, 2005.

- DE WALL, M.; van RIEL M. P.; SNIJDERS C. J.; van WINGERDEN, J. P. 1991. The effect on sitting posture of a desk with a 10 degree inclination for reading and writing. **Ergonomics**, v. 34, n. 5, p.575–584. 1991.
- DIAZ, F.; SZUCZ, C. **Análise numérica do efeito da ortotropia em vigas de madeira**. In: ENCONTRO BRASILEIRO EM MADEIRAS E EM ESTRUTURAS DE MADEIRA, 5, 2002, Uberlândia. **Anais...** Uberlândia: EBRAMEM, 2002.
- DUPONT, Werner. **Rationalization of Glued Joints in the Wood-working Industry**. Canada: Department of Forestry: Forest Products Laboratory, 1963 *apud* HILL, Michael D.; ECKELMAN, C. A. Flexibility and bending strength of mortise and tenon joints. Part 1. **Furniture Design & Manufacturing**. p. 54-60, jan. 1973a.
- ECKELMAN, C. A. Engineering concepts of single-pin dowel joint design. **Forest Products Journal**, West Lafayette, v. 19, n. 12, p. 52-59, dez. 1969b.
- ECKELMAN, C. A. **How to Design Dowel Joints**. West Lafayette: Purdue University Agricultural, 1970a. (Research Progress Report)
- ECKELMAN, C. A. The fatigue strength of two-pin moment-resisting dowel joints. **Forest Products Journal**, West Lafayette, v. 20, n. 5, p. 42-45, mai.1970b.
- ECKELMAN, C. A. **CODOFF - Computer Design of Furniture Frames**. West Lafayette: Purdue University Agricultural Experiment Station Bul., n.857, 1970c.
- ECKELMAN, C. A. Shear strength of dowel joints. **Furniture Design & Manufacturing**, v. 43, n.11, p. 52-55, 1971a.

- ECKELMAN, C. A. Bending strength and moment-rotating characteristics of two-pin moment-resisting dowel joints. **Forest Products Journal**, West Lafayette, v. 21, n. 3, p. 35-39, mar. 1971b.
- ECKELMAN, C. A. Performance testing of furniture, Part I, Underlying concepts. **Forest Products Journal**, West Lafayette, v. 38, n. 3, p.44-48, mar. 1988a.
- ECKELMAN, C. A. Performance testing of furniture, Part II, A multipurpose universal structural performance test method. **Forest Products Journal**, West Lafayette, v. 38, n. 4, p.13-18, abr. 1988b.
- ECKELMAN, C. A. **Textbook of Product Engineering and Strength Design of Furniture**. West Lafayette: Purdue University, 1993.
- ECKELMAN, C. A. **A Brief Survey of Wood Adhesives. Forest & Natural Resources: Furniture Manufacturing**. West Lafayette: Purdue University, 1997a. 8p.
- ECKELMAN, C. A. **Engineering Design of Dowel Joints**. West Lafayette: Purdue University, n. 745, 1997b. 33p. (Station Bulletin)
- ECKELMAN, C.A.; ERDIL, Y.Z. **Performance Test Method for Intensive Use Chairs – FNEW 83-269: A Description of the Test Method with Drawings**. Indiana: Forestry & Natural Resources, Purdue University – Cooperative Education, FNR 179. 19--. 20 p.
- ECKELMAN, C. A; ERDIL, Y; HAVIAROVA. School chairs for developing countries: designing for strength and durability, simplicity, and easy of construction. **Forest Products Journal**, West Lafayette, v. 53, n. 2, p.1-8, fev. 2003.

- ECKELMAN, C. A.; ERDIL, Y; HAVIAROVA. Effect of shoulders on ending moment capacity of round mortise and tenon joints. **Forest Products Journal**, West Lafayette, v. 56, n. 1, p.85-86, jan. 2006.
- ECKELMAN, C. A.; HAVIAROVA. Performance tests of school chairs constructed with round mortise and tenon joints. **Forest Products Journal**, West Lafayette, v. 56, n. 3, p.51-57, mar. 2006.
- ECKELMAN, C. A.; SUDDARTH, S. K. Analysis and Design of Furniture Frames. **Wood Science and Technology**, Berlin, v. 3, n. 3, p. 239-255, set. 1969a.
- ERDIL, Y. Z; KASAL, A; ECKELMAN, C. A. Bending moment capacity of rectangular mortise and tenon furniture joints. **Forest Products Journal**, West Lafayette, v. 55, n. 12, p.209-213, dez. 2005.
- EZPELETA, J.; ROCKWELL, E. **Pesquisa participante**. São Paulo: Cortez, 1986.
- FARIA FILHO, Luciano Mendes de. Conhecimento e Cultura na Escola: uma abordagem histórica. In: DAYRELL, Juarez (Org.). **Múltiplos olhares sobre Educação e Cultura**. Belo Horizonte: Editora UFMG, 1996. p. 127 a 135.
- FERREIRA, Mário dos Santos. **Definição de critérios de avaliação técnico-funcional e de qualificação de mobiliário escolar**. Florianópolis: EPUFSC, 2001. 153p. Tese (Doutorado) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2001.
- FREUDENTHAL, A.; van RIEL, M. P.; MOLENBROEK, J. F.; SNIJDERS, C. J. 1991. The effect on sitting posture of a desk with a ten-degree inclination using an adjustable chair and table. **Applied Ergonomics**, v. 22, n. 5, p.329-336. 1991.

- GAWRONSKI, T. Rigidity-strength models and stress distribution in housed tenon joints subjected to torsion. **Electronic Journal of Polish Agricultural, Wood Technology**, v. 9, n. 4, 10p. 2006. Disponível em: <http://ejpau.media.pl/series/volume9/issue4/art-32.html> Acesso em: 16 out. 2007.
- GIUSTINA, Mara Della. **As madeiras alternativas como opção ecológica para o mobiliário brasileiro**. Florianópolis: EPUFSC, 2001. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2001.
- GONZAGA, Lourdiane G. das Mercês. **Comportamento e Resistência de Ligações Viga-Pilar Parafusadas e Soldadas de Estruturas de Perfis de Aço Formados à frio**. Belo Horizonte: EEUFMG, 2003. 150p. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Estruturas, Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2003.
- GROSSMAN, R. J. Make ergonomics. In: **HR Magazine**. Society for Human Resource Mangement. Alexandria. Disponível em: <http://www.proquest.umi.com/pqdlink> Acesso em 16 abr. 2000.
- GUERIN, F. LAVILLE, A.; DANIELLOU, F.; DURAFFOURG, J.; KERGUELEN, A. **Compreender o trabalho para transformá-lo – a prática da ergonomia**. São Paulo: Editora Edgard Blucher, 1991. 200p.
- GUSTAFSSON, S. I. Stability problems in optimised chairs? **Wood Science and Technology Journal of the International Academy**, Berlim, v. 30, n. 5, p.339-345, out.1996.
- GUSTAFSSON, S. I. Optimising ash wood chairs. **Wood Science and Technology Journal of the International Academy**, Berlim, v. 31, n. 4, p.291-301, ago.1997.

- HALLER, P. Progress in timber joint development and modeling. In: 5<sup>TH</sup> WORLD CONFERENCE ON TIMBER ENGINEERING, 2, 1998, Suíça. **Anais...** Suíça, 1998, p. 337-344.
- HAVIAROVA, E.; ECKELMAN, C. A., ERDIL, Y. Design and testing of environmentally friendly wooden school chairs for developing countries. **Forest Products Journal**, West Lafayette, v. 51, n. 3, p. 56-64, mar. 2001a.
- HAVIAROVA, E.; ECKELMAN, C. A., ERDIL, Y. Design and testing of wood school desk frames suitable for production by low technology methods from waste wood residues. **Forest Products Journal**, West Lafayette, v. 51, n. 5, p. 79-88, mai. 2001b.
- HILL, Michael D.; ECKELMAN, C. A. Flexibility and bending strength of mortise and tenon joints. Part 1. **Furniture Design & Manufacturing**. p. 54-60, jan. 1973a.
- HILL, Michael D.; ECKELMAN, C. A. Flexibility and bending strength of mortise and tenon joints. Part 2. **Furniture Design & Manufacturing**. p. 60-67, fev. 1973b.
- HO, C.L.; ECKELMAN, C. A. The use of performance tests in evaluating joint and fastener strength in case furniture. **Forest Products Journal**, West Lafayette, v. 44, n. 9, p. 47-53, set.1994.
- HOFFMANN, R. ; VIEIRA, S. **Análise de regressão: uma introdução à econometria**. São Paulo: HUCITEC, Editora da Universidade de São Paulo, 1977. 339p.
- HSU, Shang H.; CHUANG, Ming C.; CHANG, Chien C. A semantic differential study of designers' and users' product form perception. **International Journal of Industrial Ergonomics**, v. 25, p. 375-391. 2000

IIDA, Itiro. **Ergonomia, Projeto e Produção**. 4. ed. São Paulo: Editora Edgard Blucher, 1997. 462p.

Instituto de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial – INMETRO. **Regulamento Técnico da Qualidade (RTQ) – Portaria nº 177**. 2002. Disponível em: [www.inmetro.gov.br](http://www.inmetro.gov.br) Acesso em 22 ago. 2002.

Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo (IPT). **Madeira para Móveis e Construção Civil**. São Paulo: Divisão de Madeiras, 2001. (Edição CD-R).

INTERNACIONAL STANDARD, Suíça. **ISO 5970 – Furniture – Chairs and tables for educational institutions – functional sizes**. Suíça, 1979. 5p.

INTERNACIONAL STANDARD, Suíça. **ISO 7172 – Furniture – Tables – Determination of stability**. Suíça, 1979. 5p.

INTERNACIONAL STANDARD, Suíça. **ISO 7173 – Furniture – Chairs and stools – Determination of strength and durability**. Suíça, 1989. 20p.

INTERNACIONAL STANDARD, Suíça. **ISO 7174-1 – Furniture – Chairs – Determination of stability – Part 1: Upright chairs and stools**. Suíça, 1988. 6p.

INTERNACIONAL STANDARD, Suíça. **ISO 7174-2 – Furniture – Chairs – Determination of stability – Part 2: Chairs with tilting or reclining mechanisms when fully reclined, and rocking chairs**. Suíça, 1992. 7p.

JACKSON, Albert; DAY, David. **Manual Completo de la Madera, la Carpintería y la Ebanistería**. Tradução de CYAN. Espanha: Ediciones del Prado, 1993. 320p. (Tradução de: *Trabajos em Madera*).

- JEONG, B.Y., PARK, K.S. Sex differences in anthropometry for school furniture design. **Ergonomics**, v. 33, n. 12, p. 1511–1521. 1990.
- KASAL, A; BIRGUL, R.; ERDIL, Y. Determination of the strength performance of chair frames constructed of solid wood and wood composites. **Forest Products Journal**, West Lafayette, v. 56, n. 7/8, p.55-60, jul/ago. 2006.
- KAWAUCHI, Paulo. **Seminário: A Madeira aplicada no mobiliário escolar**. São Carlos: EESC/USP, 1992. 68 p.
- KHALID, H. M.; HELANDER, M. G. Customer Emotional Needs in Product Design. **Concurrent Engineering**, v. 14, n. 3, p. 197-206. 2006.
- KNIGHT, G.; NOYES, J. Children's behaviour and the design of school furniture. **Ergonomics**, v. 42, n. 5, p. 747-760. 1999.
- LINTON, S. J.; HELLSING, A. L.; HALME, T.; AKERSTEDT, K. The effects of ergonomically designed school furniture on pupils' attitudes, symptoms and behaviour. **Applied Ergonomics**, v. 25, n. 5, p. 299-304, out. 1994.
- MANDAL, A.C. 1984. The correct height of school furniture. **Physiotherapy**, v. 70, n. 2, p.48–53. 1984.
- MARSCHALL, M., HARRINGTON, A.C., STEELE, J.R. Effect of work station design on sitting posture in young children. **Ergonomics**, v. 38, n. 9, p.1932–1940. 1995.
- MASCIA, N. T. Contribuição para a análise de vigas mistas de madeira laminada colada e concreto. In: 11º Encontro Nacional da Construção Civil, 1, 1993, Universidade Federal de Minas Gerais. **Anais...** Belo Horizonte, 1993.

- MILHAM, R. M. **A Comparison of Strength Characteristics of Mortise and Tenon Joint and Dowel Joint.** Michigan, Universidade de Michigan, Ann Arbor: 1949. (Tese não publicada) *apud* HILL, Michael D.; ECKELMAN, C. A. Flexibility and bending strength of mortise and tenon joints. Part 1. **Furniture Design & Manufacturing.** p. 54-60, jan. 1973a.
- MILLER, J. F. **Capacity of Pegged Mortise and Tenon Joinery.** Laramie: University of Wyoming - Department of Civil and Architectural Engineering, 2004. 77p. Dissertação (Mestrado) – Master of Science in Civil Engineering, Department of Civil and Architectural Engineering, University of Wyoming, Laramie, 2004
- Ministério da Educação e do Desporto. Coordenação de Instalações Escolares. **Equipamentos mobiliários: elaboração de projetos e desenvolvimento.** Coordenação geral José Maria de Araújo Souza, elaboração João Honório de Mello Filho. Brasília: Fundescola, 1998. 36p.
- MORAES, Anamaria. **Ergonomia, Ergodesign e Usabilidade: Algumas Histórias, Precursores, Divergências e Convergências.** 2001 Disponível em: <http://wwwusers.rdc.puc-rio.br/leui/metotrab.html> Acesso em 10 out. 2004.
- MOSS, P. J. Research into row modification factors for multiple-bolted timber joints. In: 5<sup>TH</sup> WORLD CONFERENCE ON TIMBER ENGINEERING, 2, 1998, Suíça. **Anais...** Suíça, 1998, p. 129-136.
- MOURA, Vicente Pongitory Gifoni; MELO, José Teodoro de; SILVA, Marco Aurélio Silva. Comportamento de Procedências de *Eucalyptus cloeziana* F. Muell. aos nove e meio anos de idade, em Planaltina, Df, área de cerrado. **IPEF**, n. 46, p. 52-62, jan./dez. 1993.

- NICHOLLS, T.; CRISAN, R. Study of the stress-strain state in corner joints and box-type furniture using Finite Element Analysis (FEA). **Holz als Roh-und Werkstoff**, Berlim, v. 60, n. 1, p. 66-71, fev. 2002.
- NOGUCHI, M; KOMATSU, K. Estimation of stiffness and strength in timber knee joints with adhesive and verification by experiment. *Journal of Wood Science*, Japão, v. 52, n. 5 p. 411-421, out. 2006.
- OLSSON, Pierre e OLSSON, Karl-Gunnar. **Applied Visualization of Structural Behaviour in Furniture Design**. Suécia: Department of Building Design, School of Architecture, Chalmers University of Technology, n1, 2003. (Building Design Papers). 32p. Disponível em: [http://www.design.chalmers.se/projects/design\\_and\\_material/Reports/Applied/Applied.pdf](http://www.design.chalmers.se/projects/design_and_material/Reports/Applied/Applied.pdf) Acesso em: 22 fev. 2008.
- PANAGIOTOPOULOU, G.; CHRISTOULAS, K.; PAPANCKOLAOU, A.; MANDROUKAS, K. Classroom furniture dimensions and anthropometric measures in primary school. **Applied Ergonomics**, v. 35, p. 121–128. 2004.
- PAOLIELLO, Carla. **Análise Biomecânica da Estrutura de Cadeiras de Madeira**. Belo Horizonte: UFMG, 2001. 205p. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Estruturas, Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2001.
- PARCELLS, C.; STOMMEL, M.; HUBBARD, R. P. Mismatch of Classroom Furniture and Student Body Dimensions: Empirical Findings and Health Implications. **Journal of Adolescent Health**, v. 24, n. 4, p.265–273. 1999.
- PÊGO, Kátia Andréa Carvalhaes; PEREIRA, Andréa Franco; CARRASCO, Edgar Vladimiro Mantilla; CARVALHO, Carla Paoliello de Lucena. Criação de Parâmetros Normativos para Design de Produto visando a Certificação. In: 4º

Congresso Internacional de Pesquisa em Design, 2007, Rio de Janeiro, **Anais...** Rio de Janeiro, 2007.

PEREIRA, Andréa Franco; WERNECK, Roberto; COSTA, Beatriz Martins da; QUEIROZ, M. A. S.; PAULA, J. C. de; CARRASCO, Edgar Vladimiro Mantilla; SAFFAR, Jorge Milton Elian; FRANÇA, Laura Rosa Gomes; BRESCIA, Enil Almeida. Uso do Eucalipto na Indústria Moveleira: agregação de Valor sob a Ótica da Sustentabilidade no Vale do Jequitinhonha. In: CONGRESSO FLORESTAL BRASILEIRO, 8, 2003, São Paulo, **Anais...** São Paulo, 2003.

PEREIRA, Andréa Franco; GALANTE, Henrique; SAFFAR, Jorge Milton Elian; CARRASCO, Edgar Vladimiro Mantilla; FRANÇA, Laura Rosa Gomes; BRESCIA, Enil Almeida. Análise sensorial e de conforto como referência para a certificação e a valorização do produto. In: ABERGO 2004 - XIII CONGRESSO BRASILEIRO DE ERGONOMIA, 13, 2004, Fortaleza, **Anais...** Fortaleza, 2004.

RACHER, P. Moment resisting connections. **Timber Engineering STEP 1**, lecture C16, CUST Civil Engineering – Blaise Pascal University, 1995.

REDIG, Joaquim. **Sobre o Desenho Industrial**. Rio de Janeiro: ESDI/UERJ, 1977. p.35.

RIBEIRO, G. **Otimização de Elementos Estruturas Moveleiros**. Belo Horizonte: EEEFMG, 2006. (Relatório Final. Processo FAPEMIG EDT-1574/04).

RIGONI, Domingos Saulo. **Fenavem, ponto culminante da indústria brasileira**. **FENAVEM'2001**, Barueri: Guazzelli Feiras Messe Frankfurt, 2001. 20p.

Secretaria Municipal de Educação. **A construção pedagógica do tempo escolar: novas concepções, antigas polêmicas e algumas possibilidades**. 2. ed. Belo Horizonte: Prefeitura Municipal de Belo Horizonte, 1999. p.12.

- SERRANO, E.; GUSTAFSSON, P. J. Modelling and Testing of Adhesive Joints in Timber Engineering. In: PROCEEDINGS OF THE INTERNATIONAL RILEM SYMPOSIUM, RILEM proceedings PRO 22, 2005. p. 463-473.
- SERPA, Pedro Nicolau; VITAL, Benedito Rocha; LUCIA, Ricardo Marius Della; PIMENTA, Alexandre Santos. Avaliação de algumas propriedades da madeira de *Eucalyptus grandis*, *Eucalyptus saligna* e *Pinus elliottii*. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 27, n. 5, p. 722-733. 2003.
- SILVA, José de Castro. A madeira de Eucalipto para a produção de móveis. In: SEMINÁRIO DE PRODUTOS SÓLIDOS DE MADEIRA DE EUCALIPTO, 2, 2003, Belo Horizonte. **Anais...** Belo Horizonte: Sociedade de Investigações Florestais, 2003. p. 175-190.
- SMARDZEWSKI, J. Numerical Analysis of Furniture Constructions. **Wood Science and Technology Journal of the International Academy**, Berlim, v. 32, n. 4, p.273-286, ago. 1998.
- SMARDZEWSKI, J. Strength of profile-adhesive joints. **Wood Science and Technology Journal of the International Academy**, Berlim, v. 36, n. 2, p.173-183, abr. 2002a.
- SMARDZEWSKI, J. Technological heterogeneity of adhesive bonds in wood joints. **Wood Science and Technology**, Berlim, v. 36, n. 3, p.213-227, mar. 2002b.
- SMARDZEWSKI, J.; GAWRONSKI, T. Gradient Optimization of Skeleton Furniture with Different Connections. **Electronic Journal of Polish Agricultural, Wood Technology**, v. 6, n. 1, 11p. 2003. Disponível em: <http://ejpau.media.pl> Acesso em: 16 out. 2007.

SMARDZEWSKI, J.; PAPUGA, T. Stress distribution in angle joints of skeleton furniture. **Electronic Journal of Polish Agricultural, Wood Technology**, v. 7, n. 1, 14p. 2004. Disponível em: <http://ejpau.media.pl/series/volume7/issue1/wood/art-05.html> Acesso em: 16 out. 2007.

SOARES, Marcelo Márcio. **Contribuições da ergonomia do produto ao design e avaliação de mobiliários escolares: “Carteira universitária”, um estudo de caso.** In: MORAES, Anamaria de; FRISONI, Bianka Cappucci (Org.). **Ergodesign: produtos e processos.** Rio de Janeiro: 2AB, 2001. 208p.

SORIANO, J.; NICOLAS, E.; MASCIA, N. Estudo experimental dos sistemas de ligações rígida e semi-rígida para as estruturas em concreto-madeira. In: XXIX JORNADAS SUDAMERICANAS DE INGENIERIA ESTRUCTURAL, XXIX, 2000, Punta Del Este. **Anais...** Punta Del Este: 2000, 11 p.

SOUZA, Antônio David Junior (Coord.). **Cadernos Escola Plural 5: 3º ciclo – um olhar sobre a adolescência como tempo de formação.** Belo Horizonte: Secretaria Municipal de Educação de Belo Horizonte, 1996.

SPARKES, A. J. **The strength of Mortise and Tenon Joints.** Inglaterra: Furniture Industry Research Association, Maxwell Road Stevenage Hertfordshire, 1968 *apud* HILL, Michael D.; ECKELMAN, C. A. Flexibility and bending strength of mortise and tenon joints. Part 1. **Furniture Design & Manufacturing.** p. 54-60, jan. 1973a.

TADEU, M. N. **Considerações a respeito da anisotropia na madeira.** São Carlos: EESC/USP, 1991. Tese (Doutorado) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Estruturas, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade São Paulo, São Carlos, 1991.

- TANKUT, N. The effect of adhesive type and bond line thickness on the strength of mortise and tenon joints. **International Journal of Adhesion and Adhesives**, v. 27, n. 6, p. 493-498, set. 2007.
- TANKUT, N. A., TANKUT, N. The effects of joint forms (shape) and dimensions on the strength of mortise and tenon joints. **Turkish Journal of Agriculture and Forestry**, v. 29, p. 493-498. 2005.
- TANKUT, N. A.; TANKUT, N; ECKELMAN, C. A. Design and testing of wall cabinet frames constructed with round mortise-and-tenon joints. **Forest Products Journal**, West Lafayette v. 57, n. 3, p. 18-22. mar, 2007.
- TOUT, Roger. A review of adhesives for furniture. **International Journal of Adhesion and Adhesives**, v. 20, n. 4, p. 269-272. 2000.
- TROUSSIER, B.; TESNIERE, C.; FAUCONNIER, J.; GRISON, J.; JUVIN, R.; PHELIP, X. Comparative study of two different kinds of school furniture among children. **Ergonomics**, v. 42, n. 3, p.516-526. 1999.
- VERGARA, Walter R. Hernández. Análise da atividade: a extração de conhecimentos. **Psicol. Reflex. Crit.**, v. 10, n. 1, p.169-180. 1997.
- ZHANG, J.; QUIN F.; TACKETT, B. Bending strength and stiffness of two-pin dowel joints constructed of wood and wood composites. **Forest Products Journal**, West Lafayette, v. 51, n. 2, p.29-35, fev. 2001.
- ZHANG, J.; GAN, L.; SELLERS, T. Withdrawal and bending performance of dowel joints in furniture-grade pine plywood. **Forest Products Journal**, West Lafayette, v. 53, n. 7/8, p. 41-49, jul/ago. 2003.

YEATS, B. Factors that may influence the postural health of schoolchildren (K-12).  
Work, v. 9, n. 1, p.45–55. 1997.

Disponível em: [http://diydata.com/techniques/timber\\_joints/mandt/mortise\\_tenon.htm](http://diydata.com/techniques/timber_joints/mandt/mortise_tenon.htm)  
Acesso em 03 dez. 2002.

Disponível em: <http://Woodworker's Journal Mortise and Tenon.htm> Acesso em 03 dez.  
2202.

Disponível em: [http://www.albaadesivos.com.br/pdmcascamite\\_01.php?prod=cascamite2#](http://www.albaadesivos.com.br/pdmcascamite_01.php?prod=cascamite2#) Acesso em  
19 set. 2005

Disponível em: [http://www.albaadesivos.com.br/pdmcascorez\\_01.php?prod=cascorez2#](http://www.albaadesivos.com.br/pdmcascorez_01.php?prod=cascorez2#)  
Acesso em 19 set. 2005.

Revista eletrônica: Mobiliário e Madeira. Bento Gonçalves, vol. 15, no 3, jul/set, 2002.  
Disponível em: [http://www.cetemo.com.br/informativos\\_pdf/jul\\_set2002.pdf](http://www.cetemo.com.br/informativos_pdf/jul_set2002.pdf) Acesso  
em 17 mai. 2004.

## ANEXO A

### ANÁLISE ERGONÔMICA DO MOBILIÁRIO ESCOLAR EXISTENTE EM UMA ESCOLA PÚBLICA

Entender e analisar as condições de mobiliário escolar existente em escolas públicas (municipais ou estaduais) para conseqüente compreensão das causas da destruição ou depredação desses objetos (figura A.1), é o objetivo do estudo aqui apresentado. Foi possível perceber que esta depredação vai além de uma avaliação única a respeito da resistência das matérias-primas utilizadas na fabricação, e que também deveria ser avaliada a atividade desenvolvida com esses utilitários e todo o contexto de realização dessa atividade.



Figura A.1 Exemplos de mobiliário encontrados nas salas de aula da escola estudada

## **A.1. Introdução**

A demanda inicial era referente a problemas com o mobiliário escolar público, mas espera-se conseguir demonstrar a influência direta da organização da atividade do trabalho, ou seja, estudar ou aprender em uma escola municipal localizada na região metropolitana de Belo Horizonte em função das características da situação presente: péssimas condições de uso como consequência direta das condições do mobiliário escolar disponível, da organização do layout das salas como retrato da política pedagógica adotada e características sócio-econômicas, educacionais e culturais dessa população, na sua grande maioria, proveniente de classes menos favorecidas.

É interessante perceber que o foco então não poderia ser apenas o mobiliário, mas as posturas adotadas pelos alunos decorrentes de uma nova maneira de se usar esse mobiliário precário e os problemas que dela resultam (dores nas costas, diminuição na concentração durante as aulas, dentre outros).

## **A.2. Observações Iniciais: Definição de Ergonomia**

São inúmeras as definições encontradas para a palavra ergonomia. Para muitos, a ergonomia é uma disciplina que se aplica ao projeto de máquinas, equipamentos, sistemas e tarefas visando a adaptação desses ao homem, utilizando, para tal, vários aspectos como a postura e os movimentos corporais e também toda situação na qual ocorra o relacionamento entre homem e seu trabalho e/ou equipamento e ambiente.

Segundo Grossman (2000), “a ergonomia é a ciência do ajuste do trabalho ao homem”, ou seja, os equipamentos e os processos de trabalho devem levar em conta as limitações e a capacidade dos usuários. Seus objetivos são a saúde, o conforto, a satisfação, a segurança e o bem-estar das pessoas no relacionamento com os sistemas produtivos.

Dessa maneira, procura-se melhor ajustar os objetos ao homem, aumentando a eficiência de suas atividades. É preciso estudar diversos aspectos do comportamento humano no trabalho: suas características físicas, cognitivas, fisiológicas, psicológicas,

sociais, ambientais e organizacionais, dentre outros fatores e a influência de sexo, idade, treinamento e motivação; além de também compreender a máquina: equipamento, ferramenta e mobiliário.

Sendo assim, define-se que a ergonomia é a responsável pela interconexão entre o usuário, sua atividade e o meio no qual esse está envolvido, ou de acordo com Ferreira (2001: 17),

a ergonomia busca definir a interface desejada entre a tarefa (o prescrito, o que deve ser feito) e a atividade (o executado, o que foi efetivamente realizado), adequando os aspectos lógicos (como fazer) e os fatores materiais (com o que fazer) necessários para que a tarefa se transforme em atividade.

No caso do estudo aqui apresentado, a atividade de trabalho a ser analisada é o estudar e para melhor compreender essa atividade, é necessário também entender os seus determinantes: de um lado os atores ligados a ela (os alunos, os professores, os coordenadores e os diretores da escola) e do outro o contexto existente (escola pública com regras de funcionamento, organização e infra-estrutura peculiares). Resumindo, a análise do trabalho é a análise desse sistema e do seu funcionamento.

### **A.3. Configuração do Sistema de Trabalho e Análise dos Determinantes**

#### **A.3.1 Os Alunos**

O aluno é o ator mais importante uma vez que é o sujeito diretamente associado à atividade, sendo, portanto, o operador desta. Entender suas características pessoais (idade, sexo, características físicas, cognitivas, psicológicas, econômicas e culturais) e sua competência (formação, experiências anteriores) é crucial para a formulação das hipóteses orientadoras das situações de trabalho analisadas em detalhe.

O que é ser aluno? O que um aluno deve fazer (atividade prescrita)? Como é que ele deve fazer? O que ele realmente faz? Qual a idade? Qual série cursa? Trabalha ou só estuda? Como estuda? Como se prepara para as provas? Gosta da escola onde estuda? Mudaria alguma coisa neste local? O que e por quê? E dentro da sala, algo o incomoda? ... São tantas perguntas que um dos primeiros passos a ser realizado é organizá-las, pois do contrário, poderia ocorrer de serem coletadas diversas informações que não estão diretamente relacionadas à questão principal do problema que é a atividade estudar.

Foi importante também perceber o modo operatório desses alunos: como é que eles se comportam em sala, quais as posturas adotadas ao escrever no caderno ou ler as informações do quadro-negro; se a cadeira utilizada está quebrada, qual a postura adotada ou existe a impossibilitado de se escrever.

No caso das escolas municipais de Belo Horizonte, os alunos são orientados por idade e separados em ciclos de formação (figura A.2), proposta denominada de Escola Plural.

<b>ESCOLA PLURAL</b>		
1o CICLO BÁSICO	6-7	infância
	7-8	
	8-9	
2o CICLO BÁSICO	9-10	pré-adolescência
	10-11	
	11-12	
3o CICLO BÁSICO	12-13	adolescência
	13-14	
	14-15	
<b>IDADE</b>		

Figura A.2 Esquema dos ciclos de formação da Escola Plural

De acordo os estudos realizados pela Secretaria Municipal de Educação da Prefeitura de Belo Horizonte (1999: 12),

a proposta expressa na Escola Plural, ao buscar uma nova organização escolar, ancora essa organização na idéia de ciclos de formação por idade, em que a referência aos educandos se torna o fundamento do processo educativo e assegura à lógica temporal a materialidade que lhe é necessária, para que o tempo escolar se constitua, de fato, em tempo de vivência dos sujeitos concretos que o constituem.

Dessa forma, os alunos, antes heterogêneos e desiguais em relação à noção de tempo, consequência das inúmeras repetências existentes nessas instituições, agora são capazes de trocar e viver experiências mais enriquecedoras com colegas de mesma idade engrandecendo, assim, o tempo de sociabilização na escola. É claro que a troca entre alunos de idades diferentes também é incentivada, entretanto essas acontecem nas atividades culturais e esportivas proporcionadas pela escola ou, até mesmo, durante o recreio. O tempo escolar atualmente é de 800 horas anuais distribuídos em 200 dias letivos, o que corresponde a uma jornada mínima de 4 horas e trinta minutos diárias de efetivo trabalho escolar.

Para entender realmente como é a atividade realizada pelos alunos, foram feitas perguntas a respeito do ato do estudar. Inicialmente, os alunos não sabiam as respostas e até não entendiam o porquê de uma pergunta, segundo eles, “tão óbvia”. Entretanto, houve alunos que chegaram a fazer um esquema de como seria o seu dia a dia:

1. *chegar à sala,*
2. *escolher um lugar e sentar na carteira,*
3. *retirar o material da bolsa,*
4. *prestar atenção à aula,*
5. *fazer o que o professor “manda”,*
6. *guardar o material e esperar o sinal*
7. *ir para outra sala,*
8. ...

Depois disso recomeça a rotina que dura até o recreio, hora da merenda, e depois recomeça outra vez até o término do horário de aula. Quando eles eram indagados sobre este comportamento tão diferente do observado em sala (conversas paralelas o tempo todo, alunos em pé andando pela sala, e um enorme movimento nas carteiras), eles não conseguiram explicar.

A não-realização dos deveres de casa e a não-preparação para as provas eram justificadas pela falta de espaço em casa para o estudo ou pela falta de livros para todos os alunos e, como uma porcentagem mínima de pontuação para a aprovação dos alunos não é exigida pela escola (eliminação completa da repetência nas escolas municipais), aparentemente não existe um “motivo” para que os alunos exerçam essas atividades a não ser por vontade própria.

Aliás, ao serem perguntados sobre o motivo de estarem estudando, alguns responderam que era porque gostavam mesmo e queriam ser algo quando crescessem; alguns estavam ali porque os pais mandaram e muitos outros por causa da merenda ou da educação física. Não queriam mudar muita coisa na escola, mas, quando questionados diretamente sobre os móveis existentes nas salas, estes foram caracterizados como “duros, ruins de assentar, alguns deles machucam as costas, pois estão quebrados, as mesas altas ou as cadeiras baixas”, dentre outras reclamações.

De qualquer maneira, o comportamento observado em sala dos alunos era o de pessoas muito agitadas e inquietas, sendo importante descobrir se é resultado da faixa etária (adolescência) em que estes alunos se encontram, do layout das salas, do não compromisso com o estudo, do mobiliário adotado ou devido a outros fatores.

### **A.3.2 Os Professores**

Os professores também são atores importantes, pois prescrevem a atividade, são os determinantes desta e os disciplinadores. Determinam a duração da atividade e os

intervalos ou pausas<sup>1</sup> que acontecem durante o período escolar (recreio de 20 min. e intervalo entre aulas). São responsáveis pelas atividades realizadas em sala e pré-determinam o layout das salas. Sendo assim, percebeu-se ser importante também entender as rotinas e as dinâmicas que ocorrem em sala e como elas interferem na disposição do mobiliário no espaço.

Antes, porém, foi interessante perguntar para os professores sobre sua remuneração, sua satisfação e motivação ao lecionar em escolas públicas, sua disposição para o ensinar, e como são encarados os problemas com falta de material, falta de disciplina dos alunos e o incentivo a cursos de renovação e atualização profissional.

O papel do coordenador e do diretor também foi estudado, visando sempre entender como é que se estrutura e se organiza essas instituições públicas, suas hierarquias, seus objetivos e sua forma de lidar com os alunos e com a atividade em questão.

Para isso, foram realizadas entrevistas com os professores e com a coordenadora pedagógica do 3º ciclo. Foi sublinhado que a existência de salas-ambientes<sup>2</sup> propicia condições de trabalho mais adequadas para cada disciplina e, o mais importante, propicia que os alunos se movimentem entre uma aula e outra, uma vez que são eles que mudam de sala. Essas pequenas pausas, além de proporcionarem alívio na musculatura dorsal, promovem também um pequeno período de socialização no qual conversas sobre a aula e sobre a matéria dada são efetuadas.

Foi percebida, durante as entrevistas, certa discordância com o conceito de Escola Plural, alegando que esta, ao invés de socializar - premissa básica da proposta dessa nova organização escolar -, não propicia bases sólidas para que o aluno, após o período escolar, se estabeleça no mercado. Entretanto, é importante entender como é que essa

---

<sup>1</sup> Essas pausas são interpretadas por Guerin et al (1991) como importantes não só pelo tempo de recuperação e descanso da atividade de trabalho, mas principalmente pelo seu caráter social, ou seja, pelas trocas de informações que acontecem durante o período em que se desenvolvem.

<sup>2</sup> Termologia usada para ilustrar que as salas são separadas por matéria, o que possibilita a utilização do espaço para atividades específicas de cada disciplina e promove a decoração da mesma com temas de interesse pela matéria a ser ensinada.

nova experiência pedagógica interfere no dia-a-dia do professor e, conseqüentemente, do aluno.

Percebeu-se que, com esse novo conceito pedagógico, tanto os professores quanto os coordenadores têm a função de reunir-se para discutir e decidir sobre as atividades que acontecerão na escola visando sempre ao processo de formação dos alunos. Aparentemente, pode-se então concluir que a carga de trabalho destes profissionais aumentou, uma vez que, segundo Souza (1996),

é importante romper a cultura tradicional que nos coloca como profissionais de uma matéria, de uma turma. Temos que dinamizar as escolas avançando em terrenos coletivos que exigem tratamento global de todas as áreas, privilegiando o tratamento das diversidades, projetos de trabalho, temas de interesse, atividades significativas para os alunos.

O contrato entre escola e professor é feito por meio de concurso público. O período probatório é de 3 anos, as faltas são abonadas com atestado e demissões são raras (o que ocorre é a troca de um professor de uma escola para outra da rede pública). Esses problemas são, em sua maioria, resolvidos internamente sendo somente encaminhado para a Regional em último caso.

A conversa, como instrumento de resolução dos problemas, parece ter sido adotada pela escola analisada. A organização formal dos níveis hierárquicos, apresentada na figura A.3, era “quebrada” a partir do momento em que a comunicação é a principal regente para se alcançar a colaboração e a construção das regulações estruturais da escola.

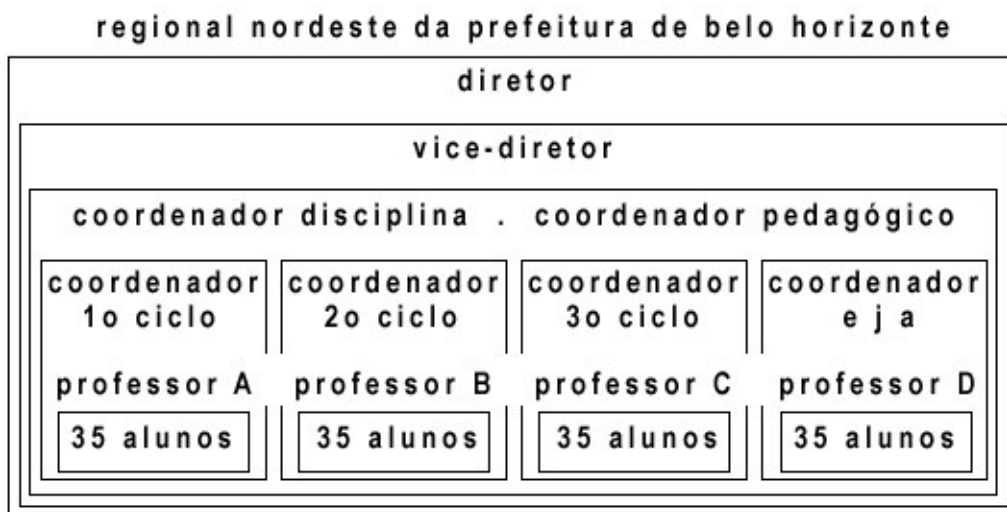


Figura A.3 Estrutura vertical

Os professores e coordenadores decidem em conjunto quais atividades são realizadas durante um determinado período pelos alunos, dentre outras coisas. No caso da escola em questão, o coordenador pedagógico era também o coordenador do 3º ciclo, cargo esse sempre ocupado por um professor eleito pelos próprios professores, enquanto o diretor e o vice-diretor eram eleitos pela comunidade, em conjunto com a escola.

A remuneração em novembro de 2003 era de R\$ 800,00 de salário bruto para professores iniciantes, sendo tempo de casa e especializações fatores de acréscimo. Percebeu-se que a motivação para o lecionar não é encarada como consequência do aspecto financeiro. E, segundo uma professora entrevistada, a não-motivação era somente “resultado da dificuldade ou desgaste por causa da indisciplina presente. O professor, além de professor, é também pai, mãe, psicólogo e delegado.”

Cursos para atualização profissional são incentivados e a Prefeitura apresenta vários durante todo o ano, abordando diversos temas. Os professores podiam escolher o de maior interesse e se matricular, contanto que o dia do curso fosse no tempo de projeto<sup>3</sup>.

### A.3.3 A Organização

Foi importante também considerar o funcionamento organizacional da escola: suas metas e alvos, suas regras e normas, sua política administrativa e, principalmente, o que a escola busca no estudante, quais são as características, habilidades e competências desenvolvidas nos alunos e quais são os procedimentos para isso acontecer.

... o que interessa ao ergonomista não é a atividade de trabalho por si só. Compreendê-la melhor só se justifica se permitir a transformação do trabalho, o que implica frequentemente acesso a uma leitura crítica do funcionamento da empresa. (Guerin et al, 1991: 37),

Entender também o meio no qual está inserida essa atividade foi fundamental, o que significou compreender o espaço de trabalho (aberto ou fechado, bem iluminado ou escuro, bem ventilado ou abafado, próximo a ruídos externos ou não), o meio técnico existente (condição do mobiliário, existência ou não de equipamentos que auxiliam no desenvolvimento de aulas mais dinâmicas como aparelhos de tv, retroprojektor, projetor de slides, dentre outros), o sistema de manutenção adequado, a equipe de limpeza dos ambientes, dentre outros.

Primeiramente foi necessário salientar qual era a principal meta da escola estudada para seus alunos. De acordo com Faria (1996: 131) “existe a referência à escola (física e simbolicamente falando), como o lugar mais apropriado para a formação das novas gerações” e que, a partir dos grupos escolares e das escolas isoladas existentes, deve ser estruturada uma mudança de sensibilidade, linguagem, comportamentos, costumes e mesmo de projetos e perspectivas pessoais. Entretanto, o mesmo autor apresenta que

a prática cotidiana da sala de aula implica muito mais que isso e o ensino de conhecimentos deve obedecer não

---

<sup>3</sup> Tempo de projeto é o dia em que o professor não leciona, mas está disponível para eventuais atividades extras que venham a acontecer nesse dia, ou para dedicação à sua formação e preparação profissional.

fundamentalmente a regras e horários, mas ao jogo de força e sedução estabelecido entre professoras e alunos. (Faria, 1996: 131)

Analisar a escola como espaço sócio-cultural foi defendido por Dayrell (1996), que trata de uma nova perspectiva a qual privilegia a ação dos sujeitos na relação com as estruturas sociais, levando em conta a dimensão do fazer cotidiano.

De acordo com Ezpeleta e Rockwell (1986: 58),

A instituição escolar seria o resultado de um confronto de interesses: de um lado, uma organização oficial do sistema escolar, que define conteúdos da tarefa central, atribui funções, organiza, separa e hierarquiza o espaço, a fim de diferenciar trabalhos, definindo idealmente, relações sociais; de outro, os sujeitos – alunos, professores, funcionários, que criam uma trama própria de inter-relações, fazendo da escola um processo permanente de construção social.

Segundo a coordenadora pedagógica, o projeto da escola é calcado nas relações humanas, em novas chances e no fazer com que o aluno possa viver em sociedade com respeito a si e aos outros. No início do ano letivo, era discutida a questão dos direitos e deveres dos alunos dessa escola, e os pontos mais interessantes foram aqui ressaltados. Essa lista indica os aspectos relevantes como o entendimento da importância do estudar e de se ter uma sala limpa, bem cuidada e organizada para que o primeiro aconteça. Salientam-se, como exemplo dessa lista:

DIREITOS DOS ALUNOS DA ESCOLA (turno da tarde)

“estudar e aprender”

“que os professores respeitem os alunos”

“ter sala limpa e num bagunçar quando chegar na escola”

“merenda boa e gostosa”

#### DEVERES DOS ALUNOS DA ESCOLA (turno da tarde)

“respeitar os professores e colegas”

“chegar na hora e voltar para a sala depois do recreio”

“fazer os exercícios que o professor manda e fazer os para-casa”

“trazer o lápis e a borracha e os cadernos e a caneta”

“cuidar da escola porque ela é da gente mesmo e quem quebrar alguma coisa tem de pagar”

Como explica Dayrell (1996), a arquitetura escolar interfere e determina a concepção educativa, sendo cenário de ampliação e/ou limitação das possibilidades das relações pedagógicas. Os ambientes de estudo, salas de aula da escola visitada, eram muito iluminados e arejados como se pode perceber nas fotos abaixo (figura A.4). As salas também eram muito limpas e sempre organizadas antes do início de cada período letivo diário.



Figura A.4 Aspecto geral de uma sala de aula

Entretanto, o ruído externo era perturbador devido à proximidade a uma parada final de ônibus. Contribuindo para essa situação, durante a primeira aula, os alunos que não entravam nas salas ou chegavam atrasados, ficavam esperando e conversando no pátio. Esse comportamento gerava um ruído que atrapalhava as aulas, principalmente a da Sala de Ciências, única sala localizada no primeiro andar, bem perto da entrada na escola.

As outras salas que ficavam no andar superior poderiam estar protegidas de qualquer ruído externo, mas não conseguiam bloquear o barulho que vinha principalmente das quadras esportivas localizadas no fim do lote. Quando um professor faltava ou nos horários de educação física, era percebido um aumento desse ruído, tornando-se esse um possível elemento perturbador das atividades realizadas dentro das salas.

O mobiliário existente, já ilustrado anteriormente, estava muito degradado e os conjuntos de cadeira e mesa seguiam a padronização imposta pela Prefeitura, responsável pela compra desses equipamentos. Foi interessante observar que estes equipamentos tinham, em sua maioria, as mesmas dimensões, mesmo sendo usados por pessoas com variadas estaturas, podendo ser a não-adequação ao usuário um dos motivos responsáveis pela quebra desses objetos (figura A.5).



Figura A.5 Mesa com porta objetos baixo e cadeira com assento baixo

Essa inadequação usuário x mobiliário propicia que a mudança de postura aconteça com mais frequência (figura A.6) e esse movimento pode causar a mudança de lugar das cadeiras e/ou mesas, acelerando o desgaste que aconteceria naturalmente.



Figura A.6 Observação de mudança de postura

Outro resultado que pode ser estabelecido com as observações iniciais foi a mudança de postura em função do layout das salas. A maioria das salas de aula tinha sua configuração espacial de tal modo que os alunos assentados na parte do fundo da sala não conseguem visualizar totalmente o quadro-negro (figura A.7). Para isso, era necessário adotar uma postura incomum ou mudar de lugar (figura A.8).



Figura A.7 Visibilidade de um aluno que senta na última carteira da fila



Figura A.8 Observação de mudança de postura (1) ou de posição da carteira (2) para enxergar melhor o que está escrito do quadro-negro

Entretanto, afirmações ainda não podiam ser feitas, pois aqui se estava apenas retratando o processo de análise e reformulação da demanda essencial para o perfeito entendimento da atividade do trabalho e do real significado da solicitação de estudo. Definiu-se a realidade da escola após delimitada a tríade do campo de estudo expressada pelas pessoas envolvidas, pela tecnologia (meio técnico) e pela organização (meio social) existentes.

#### **A.4 Estabelecimento das Observáveis e Pré-Diagnóstico**

A complexidade e a variabilidade das situações de trabalho raramente levam ao enunciado de uma relação de causa e efeito simples entre uma condição do exercício da atividade e uma dificuldade particular. O ergonômista é, portanto, levado a formular não uma hipótese, mas várias, relacionadas entre si, cujo grau de detalhamento pode ser mais ou menos elevado. (Guerin et al, 1991: 142)

A escolha das situações a observar deve ter então o objetivo de identificar os componentes da situação, neste caso os alunos; as relações entre estes e entre os alunos e o professor; a organização do meio, ou seja, o layout e/ou a mudança deste; e as exigências ou tarefas a serem realizadas durante o período de aula.

Foi escolhida como situação a ser analisada, um dia de aula com a turma 31 - 3º ciclo, a partir de novas entrevistas com professores do 3º ciclo e da coordenação, que ressaltaram ser essa a turma mais agitada do turno da tarde. Composta de 25 alunos - 13 meninas + 12 meninos -, a maioria com idade de 13 anos, percebeu-se que, no geral, o comportamento dessa sala era tido como inquieto e muito agitado; conversas paralelas, perpendiculares e na diagonal, mudanças de lugar e de postura eram constantes.

A hipótese aqui estabelecida é o de que cadeiras e mesas estão sujeitas a serem danificadas, mesmo quando o móvel é usado funcionalmente.<sup>4</sup> Portanto, poderiam ser observadas as seguintes possibilidades que podem levar à utilização “incorreta” do mobiliário:

1. interação aluno + professor - não comprometimento do aluno com a aula, o que implica desatenção, que acarreta agitação e, conseqüentemente, o deslocamento do mobiliário;
2. interação aluno + aluno - não comprometimento do aluno com a aula, o que favorece conversas paralelas, gerando desatenção e agitação e, mais uma vez, o deslocamento do mobiliário;
3. layout das salas, o que impossibilita a visão do quadro e ocasiona o deslocamento do mobiliário e/ou a adoção de uma postura e uso não prevista;
4. idade dos alunos (adolescência), o que sugere a existência de comportamento inadequado;
5. mobiliário inadequado ao tamanho do usuário (diagnosticado como um problema antropométrico), o que gera incômodos no sentar e, conseqüentemente, agitação e deslocamento do mobiliário.

---

<sup>4</sup> De acordo com Iida (1997), ao contrário das máquinas, equipamentos e ferramentas usados de forma correta por pessoas treinadas, os móveis são utilizados aleatoriamente. Sendo assim, pode-se concluir que existem, basicamente, duas classificações no uso de móveis: o uso funcional e o não-funcional.

Para a validação do primeiro e do segundo item, seria necessário observar duas turmas em aula (uma agitada e a outra quieta) com o mesmo professor ou então duas aulas distintas com a mesma turma. Para entender se o layout é um fator que impulsiona o deslocamento dos alunos, o ideal seria comparar duas salas de aula com layout distintos (uma organizada em fila e outra preparada para o trabalho em grupo) com a mesma turma e o mesmo professor. Para verificação do quarto item, seria necessária a comparação entre uma turma com 13 anos (como a turma 31 escolhida) e outra com uma idade menor, e de preferência em uma aula com o mesmo professor. E, por fim, seria interessante utilizar outro mobiliário para comparar a postura em ambas as cadeiras.

Entretanto, em função do foco dessa etapa do estudo, não foi possível observar todas essas variáveis. Foram realizadas 2 observações sistemáticas de 10 minutos cada uma. Foi usada uma filmadora localizada na última carteira da sala de aula e apontada para um lado do ambiente, de maneira a captar os movimentos de pelo menos metade da turma.

A primeira tomada foi feita na primeira aula do dia (aula de português) em dois tempos distintos: logo no início da aula com a atividade de retorno de provas para os alunos (foco 1) e, portanto, os alunos estavam levantando muito e ainda não tinham se acalmado. O foco principal foi o comportamento de uma menina que conseguiu um bom desempenho na prova, que se movimentou muito, alterando muito sua posição/postura e levantou da cadeira 3 vezes num período de aproximadamente 6 minutos.

A segunda observação focada também foi realizada na mesma sala, mas em outro dia, no qual a atividade era a leitura de um texto. O movimento das cadeiras e mesas e a mudança da postura dos alunos eram constantes como observado na seqüência da figura A.9 (fotos tiradas de 1 em 1 minuto) e, por fim, a atividade foi cancelada.





Figura A.9 Variações de postura do aluno de chapéu e da aluna com camisa branca  
(foco 2)

## A.5 Conclusão

Observar as posturas foi a maneira encontrada para representar o olhar sobre a atividade de trabalho aqui proposta: o estudar. Guerin et al (1991) explicitaram que

“as posturas constituem um indicador complexo da atividade e dos constrangimentos que pesam sobre ela. São também objetos de estudo em si, na medida em que são fontes de fadiga e podem gerar distúrbios vertebrais, articulares etc.”

Não foi a intenção deste estudo demonstrar as diversas posturas-tipo que ocorrem durante uma aula, mas muito mais entender que a mudança faz com que o mobiliário seja deslocado, resultando em uma possibilidade de degradação deste.

Entender que existe uma ligação entre as posturas adotadas, a atividade exercida, o lugar no qual acontece essa atividade, o contexto no qual esta se desenvolve e os alunos é perceber que os fatores internos (pessoas) e os fatores externos (organização e meio de trabalho) influenciam em uma situação de trabalho.

Seria interessante observar e validar as outras hipóteses levantadas anteriormente, e partir para o próximo passo, que seria a realização do diagnóstico relativo à situação de trabalho analisada, sintetizando, assim, os resultados das observações e das medidas realizadas e recomendando possibilidades de transformação. Entretanto, ficam essas como sugestões para futuros trabalhos.

Vale ressaltar que os ensaios previstos na norma NBR 14006/2003 e a retirada das classes dimensionais na NBR 14006/2008, não levam em consideração os fatos observados neste estudo, e fica a sugestão de sua inclusão na norma técnica.

## **ANEXO B**

### **REDESENHO DO MOBILIÁRIO ESCOLAR A PARTIR DOS ENSAIOS DE USABILIDADE E DE RESISTÊNCIA**

Analisar o protótipo inicial, em uma situação real, a partir de ensaios de usabilidade e de resistência é o objetivo do estudo aqui apresentado. Ao final foi possível avaliar as posturas e o comportamento dos alunos em função desse mobiliário, seu comportamento durante a aplicação das cargas, propriedades da matéria-prima utilizada na fabricação e processo construtivo (desempenho das ligações empregadas). O redesenho da carteira escolar foi a consequência natural após a avaliação dos dados obtidos.

#### **B.1. Introdução**

Como já explicado, entende-se que qualquer objeto de design é um instrumento mediador entre o sujeito e o meio, transformador da realidade que afeta o modo de apropriação do mundo pelo homem. No caso do design de móveis escolares não é diferente: as cadeiras e as mesas estabelecem uma relação própria com os alunos, provocando uma experiência e uma percepção particular. Cientes disso, os professores utilizam o mobiliário como determinante dos procedimentos didáticos adotados e cada mudança espacial reflete em uma mudança no processo de aprendizagem.

Percebeu-se um aumento no número dos estudos que envolvem o entendimento da postura em sala de estudantes e todos sempre ressaltam a importância do emprego de móveis bem desenhados e da consciência de se adotar uma boa postura durante o tempo de escola.

Muitos investigadores propuseram móveis ergonomicamente projetados (Mandal, 1984; Bendix, 1987; Freudenthal et al., 1991; De Wall et al., 1991; Marschall et al., 1995; Corlett, 1999; Panagiotopoulou et al., 2004), bem como móveis escolares ajustáveis (Jeong e Park, 1990; Parcells et al., 1999; Yeats, 1997).

Diante desse panorama, esta parte deste estudo tem como objetivo a avaliação do protótipo - cadeira e mesa escolar – (figura B.1), a partir de ensaios de usabilidade e da análise da engenharia. O intuito era conseguir um móvel que não fosse somente resistente e durável, mas também confortável, útil e seguro.



Figura B.1 Foto do protótipo – desenho inicial

Para alcançar o proposto, um procedimento de projeto integrado foi criado; a equipe de designers e dos engenheiros teve que trabalhar conjuntamente, com a vantagem de cada especialidade e conhecimento visando assegurar a boa qualidade e o controle adequado

do produto. Vale dizer que as necessidades e preferências dos usuários eram levadas em consideração durante o processo de desenvolvimento do produto (Hsu et al, 2000) e, não obstante, a carteira escolar teve que ser adaptada ao cenário brasileiro: medidas antropométricas e aspectos sociais, econômicos e culturais.

## **B.2. Ensaio de Usabilidade**

Usabilidade pode ser definida como uma característica que explicita a facilidade de se usar um determinado produto. De acordo com Moraes (2004),

a usabilidade trata da adequação entre produto, tarefas e usuários, sendo necessário saber avaliar o comportamento desses e o contexto em que a atividade está inserida para se conseguir assegurar que a utilidade dos produtos e a qualidade de interação se ajustem aos requisitos dos usuários.

Na proposta de mobiliário aqui apresentada, buscou-se a verificar a adequação ao usuário e à tarefa. Se o objetivo é obter maior conforto, segurança e saúde com as carteiras escolares, faz-se então necessária a consideração de parâmetros obtidos a partir da observação do uso da carteira escolar em situação real, visando à apreensão do comportamento efetivo do usuário (Abrahão, 2000) e não somente dos aspectos dimensionais e/ou de resistência normalizados.

Essa metodologia vem sendo adotada e defendida por vários autores, a saber: Soares (2001) que estudou a carteira universitária do ponto de vista da avaliação configuracional e ergonômica usando da análise e registro das frequências posturais de 26 alunos; Linton et al (1994) que pesquisaram o efeito na atitude e comportamento de alunos com 10 anos de idade ao usar um mobiliário escolar desenvolvido dentro de parâmetros ergonômicos; e Knight e Noyes (1999) que apresentam um estudo a partir do levantamento das dimensões das cadeiras escolares existentes, levantamento antropométrico dos alunos, observação das posturas adotadas nas atividades exercidas (leitura e redação) com emprego de questionário. Aagaard-Hansen e Storr-Paulsen

(1995), Troussier et al (1999) também apresentam estudos comparativos entre conjuntos de alunos diversos, a partir da observação do comportamento discente, em especial as posturas mais freqüentes, e da aplicação de questionários nas entrevistas com os alunos.

De acordo com Cushman e Rosenberg (1991), os resultados do ensaio de usabilidade não podem ser válidos a menos que sua condição se aproxime do real uso do produto. Conseqüentemente, as características do protótipo, as tarefas, a duração do teste, e as circunstâncias ambientais devem ser fidedignas com o proposto.

Durante a preparação para o ensaio de usabilidade, foi conduzido um estudo de campo (anexo A) para compreender previamente os problemas que poderiam ocorrer e para observar o comportamento dos alunos diante de tarefas genuínas e rotineiras.

No ensaio de usabilidade, todos os usuários envolvidos eram representativos (sujeitos com as mesmas características estabelecidas pelo usuário padrão proposto pela NBR 14006/2003). O critério de seleção dos usuários foi a estatura dos alunos, correspondendo à classificação definida pela norma, e o interesse em participar.

Solicitou-se que os alunos executassem tarefas representativas com o protótipo durante o período de uma semana (cinco dias de monitoração). Por fim, para avaliar tanto seu desempenho quanto sua confiabilidade, o protótipo foi testado por 12 usuários típicos (seis estudantes do turno da manhã e seis do turno da noite, sendo sempre três de cada gênero), conseguindo, assim, assegurar a diversidade de comportamento e de características antropométricas dentro do grupo.

Durante todo o ensaio, o comportamento dos alunos era observado e procurou-se ao máximo não interferir no teste (monitoramento em vídeo para registro das atividades, prevendo a visualização dos seis alunos de perfil).

Os dados foram analisados com o cruzamento das observações e das verbalizações<sup>1</sup> a partir dos protocolos pré-definidos, apresentados a seguir. Foram também utilizados elementos de apropriação manipulados por meio da transmissão, a apenas uma das turmas, de valores diversos, por exemplo, ambientais (madeira de reflorestamento), ideológicos (importância da preservação ambiental) e certificação de identidade (móvel fabricado pela comunidade do Vale do Jequitinhonha). Este estudo faz parte da pesquisa proposta por Pereira et al (2004) em análise sensorial na qual é discutida a importância da percepção (conforto) enquanto aspecto determinante da aceitação ou rejeição do produto pelo consumidor.

As seguintes posturas de assento foram observadas: cotovelos ou antebraço na mesa, pé/pés no assoalho ou no apoio-pé, nádegas em contato com o assento da cadeira, coluna em contato com encosto, tronco torcido ( $>30^\circ$ ), sentar-se relaxado, sentar-se ereto, sentar-se com coluna tombada para frente ou para trás, dentre outras (tabela B.1). E dados subjetivos também foram coletados a partir da entrevista na qual a discussão deteve-se à avaliação da função, usabilidade e aparência do produto proposto (tabela B.2).

---

<sup>1</sup> A verbalização (Vergara, 1997) foi obtida com entrevista semidirigida com os alunos, no último dia de filmagem, tendo sido esta anotada e também monitorada em audiovisual.

TABELA B.1  
Protocolo utilizado na análise dos ensaios

<b>PROTOCOLO DE OBSERVAÇÃO</b>	
<b>VARIÁVEIS</b>	<b>INDICADORES</b>
<b>Aspectos dimensionais</b>	<b>Altura da mesa</b> , observar: - se o aluno tem necessidade de suspender os braços; - se o ombro do aluno está elevado (tampo muito alto); - se a coluna do aluno está curva (tampo muito baixo).
	<b>Altura da cadeira</b> , observar: - se as pernas estão em balanço; - se a altura da cadeira corresponde à altura da mesa; - se as pernas estão esticadas para frente ou para trás (assento baixo); - se o joelho do aluno não tromba no “porta-objetos” da mesa.
	<b>Superfície da mesa</b> , observar: - se é suficiente para apoio e movimentação dos braços; - se cabem o caderno, o lápis ou seja os objetos usados em aula pelos alunos.
	<b>Superfície do assento</b> , observar: - se é suficiente para apoio do corpo; - se é excedente e comprime as coxas e/ou joelhos.
	<b>Inclinação do assento</b> , observar: - se constrange ou facilita os dois movimentos principais: 1) apoiado no encosto e 2) em atividade sobre a mesa.
	<b>Superfície do encosto</b> , observar: - se é suficiente para apoio do corpo.
	<b>Inclinação do encosto</b> , observar: - se, quando encostado, o aluno deve movimentar-se para diminuir fadiga de compreensão do abdômen; - se a cabeça do aluno pende para trás ou para frente (encosto muito ou pouco inclinado).
	<b>Peso</b> , observar: - se dificulta a movimentação para ajuste das distâncias e posicionamentos.
<b>Elementos de apropriação</b>	<b>Psico-prazer</b> , observar: - organização dos objetos - o desempenho do conjunto carteira + atividade (tomar como referência a resposta da entrevista sobre se a atividade é a) prazerosa, b) repulsiva, c) indiferente.
	<b>Ideo-prazer</b> , observar: - comparando as duas turmas, se a percepção do uso da carteira como um todo foi mais positiva, mais negativa ou indiferente, a partir da explicitação dos valores móvel do Jequitinhonha, em madeira maciça e de eucalipto colocada a uma das turmas no início do ensaio.
	<b>Físio-prazer</b> , observar: - prazer sentido individualmente – observações obtidas a partir das entrevistas

TABELA B.2  
Protocolo utilizado na análise das entrevistas

<b>PROTOCOLO DE ENTREVISTA</b>	
<b>VARIÁVEIS</b>	<b>INDICADORES</b>
<b>Aspectos dimensionais</b>	<b>O QUE ACHOU</b>
	Da altura da mesa;
	Da altura da cadeira;
	Da superfície da mesa;
	Da superfície do assento;
	Da inclinação do assento;
	Da superfície do encosto;
	Da inclinação do encosto;
Do peso da carteira.	
<b>Elementos de apropriação</b>	Você achou que utilizar esta carteira foi: a) gostoso (prazeroso); b) ruim (repulsivo); c) normal (indiferente). Por quê?
	<b>O QUE ACHOU</b> (observar se é gostoso, ruim, normal sem induzir)
	Dos lugares para organizar seus materiais;
	Da textura da carteira (explicar: liso, áspero);
	Das formas da carteira;
	Da cor;
	Do brilho;
	Do barulho para arrastar.
	<b>O QUE ACHA</b> (observar se é gostoso, ruim, normal sem induzir)
	Do barulho da sala;
	Do barulho da rua;
	Da iluminação da sala;
Das aulas.	

### **B.3. Ensaio De Resistência, Estabilidade e Dimensional**

Como já apresentado no corpo central deste estudo, no caso dos móveis escolares, a NBR 14006/2003 é a norma brasileira que estabelece os requisitos mínimos do conjunto-aluno para instituições de ensino nos aspectos de acabamento, identificação, ergonômicos, estabilidade e resistência, sendo estes três últimos os utilizados como diretrizes para este estudo.

Na definição das classes dimensionais, a norma utiliza como base a ISO 5970 por ainda não haver, em abrangência nacional, estudos antropométricos da população infanto-juvenil. Sabe-se da importância desse quesito para o correto desenho de móveis (Jeong e Park, 1990). Entretanto, a análise aqui desenvolvida não pretende questionar as dimensões propostas pela norma, cabendo apenas comparar os valores estabelecidos para o tamanho de móveis da classe 5, destinada a alunos cuja faixa de estatura pode variar entre 1620 a 1800 mm, com as medidas apresentadas nos protótipos de cadeira e mesa escolar aqui avaliados.

As dimensões para o conjunto-aluno estabelecidas pela norma são altura do assento, profundidade do assento, largura do assento, altura do vão entre a superfície do assento e a base do encosto, altura até a borda superior do encosto, largura do encosto e altura da aba frontal do assento para a cadeira escolar. Já para a mesa, as dimensões avaliadas são altura do tampo, altura para movimentação das coxas, altura para movimentação dos joelhos, altura para posicionamento de obstáculos na área de movimentação da perna, profundidade do tampo, largura do tampo, largura do espaço para as pernas, profundidade do espaço para as pernas e profundidade para movimentação das pernas. Todas essas dimensões foram aqui analisadas.

Na avaliação estrutural de cadeiras e mesas escolares, foram analisados os ensaios apresentados propostos pela NBR 14006/2003. Os resultados desses ensaios conseguiram fornecer dados importantes à equipe, apresentando novas informações para o redesign do mobiliário avaliado.

#### **B.4. Resultados**

Como já explicado anteriormente, os protótipos usados nos ensaios aqui realizados foram executados pela Empresa Decor Mobile, utilizando tábuas da espécie *Eucalyptus grandis*, escolhidas com o cuidado de se conseguir a isenção de nós ou outros defeitos visuais.

### **B.4.1. Ensaios de Usabilidade**

Para facilitar o controle dos produtos, foi feita a numeração de todos os itens, a qual podia ser observada na parte inferior frontal interna de cada elemento (i.e., cadeira e mesa) levantando-se o móvel pela parte de trás. Cuidados foram tomados no transporte do mobiliário até a escola na qual seria realizado o ensaio de usabilidade e uma limpeza foi realizada antes do início dos testes.

A verificação diária de eventuais “danos” nos corpo-de-prova (i.e., riscos, amassados, marcas de caneta etc.), inclusive antes e depois dos testes, também se mostrou útil para auxiliar no monitoramento. Neste ensaio, a turma da tarde (não englobada nos testes) interferiu bastante no produto, arranhando e rabiscando os conjuntos. A verificação diária permitiu esse acompanhamento.

Foram utilizadas dezesseis fitas de vídeo com duração de cerca de 1h30 cada uma e, após a avaliação de todo o conteúdo, os seguintes itens no aspecto dimensional foram destacados:

- foi notado com frequência o uso do porta-objetos para guarda de bolsas e pastas. Materiais como lápis, caderno, livros, dentre outros usados nas atividades em aula, ficavam todos sobre a mesa, podendo-se, dessa maneira, afirmar que a superfície da mesa é adequada para apoio dos objetos além da movimentação e apoio dos braços;
- percebeu-se um cuidado maior dos alunos ao mover a carteira, o que pode ser em função do peso do mobiliário ou zelo;
- percebeu-se que a carteira nova ocupa um espaço maior que a carteira padrão da escola-teste;
- verificou-se que os alunos se inclinam muito ao escrever, o que pode significar que a superfície de trabalho é baixa ou simplesmente um jeito de se assentar típico da idade (principalmente porque se notou que os alunos sentados ao redor, ou seja, usando do mobiliário padrão da escola, também curvavam a coluna para realizar essa atividade);

- por causa da posição da câmera, não foi possível, na maioria das vezes, focar nas pernas e observar a superfície do assento, a superfície do encosto e o efeito da inclinação dessas partes; entretanto foi percebido que os alunos colocavam as pernas para frente ou para trás, o que pode ser um sinal de uma baixa superfície do assento da cadeira;
- por fim, seria interessante ter anotado a atividade que estava acontecendo durante as gravações para avaliar melhor as posturas (por exemplo, provas ou atividades em grupo ou individuais, leitura,...).

Após a totalização da filmagem, foi realizada, como previsto, a entrevista com todos os alunos participantes, conforme resumo apresentado a seguir.

Sobre os aspectos dimensionais, foram destacados os seguintes itens:

- a maioria dos alunos achou a altura da mesa escolar boa, e apenas um aluno comentou sobre a altura das travas, considerada alta, que impedia o apoio dos pés;
- a maioria achou a altura da cadeira escolar boa;
- para alguns alunos, a superfície da mesa foi considerada ruim, principalmente, para quem assenta próximo à parede da sala (por causa da inclinação do tampo) e para executar trabalhos em dupla (também por causa da inclinação do tampo). Todos solicitaram explicações sobre o furo, achando-o interessante e apresentando novas finalidades de uso;
- a superfície e a inclinação do assento foram consideradas confortáveis e a superfície e inclinação do encosto foram consideradas boas;
- novamente foi destacado o peso do conjunto-aluno e até sugerido que fossem feitas peças mais finas (assento menos espesso, peças mais esbeltas) para que o móvel ficasse mais leve.

Sobre os elementos de apropriação, foram destacados os seguintes itens:

- os alunos consideraram o mobiliário gostoso (prazeroso) ou normal (indiferente). Foi apenas ressaltado novamente o conforto ao usar e o peso do mobiliário;

- foi sugerida, na parte do tampo da mesa, a colocação de uma trava para que o lápis não caia no chão;
- foi elogiada novamente a dimensão do porta-objetos;
- a textura da carteira foi qualificada como lisa e considerada boa, pois não agarra nas roupas e, ao mesmo tempo, ruim, pois os objetos deslizam com mais facilidade;
- da forma da carteira, foi salientada a preferência pelo tampo da mesa quadrado;
- a cor e o brilho do mobiliário foram considerados bons;
- sobre o barulho de arrastar o móvel, foi ressaltado novamente o peso do móvel e um aluno destacou que esse conjunto-aluno faz mais barulho que o padrão usado na escola;
- o barulho da sala foi considerado normal e o barulho da rua não é notado, mas comentários sobre o ruído da sala vizinha ou da quadra de esportes foram feitos;
- a maioria dos alunos considerou a sala bem iluminada e bem arejada;
- por fim, foi destacado que as aulas dependem muito do professor que está lecionando.

De uma maneira geral, o mobiliário foi bem aceito pelos alunos, sendo que as diversas considerações feitas foram avaliadas e as modificações sugeridas encontram-se detalhadas a seguir.

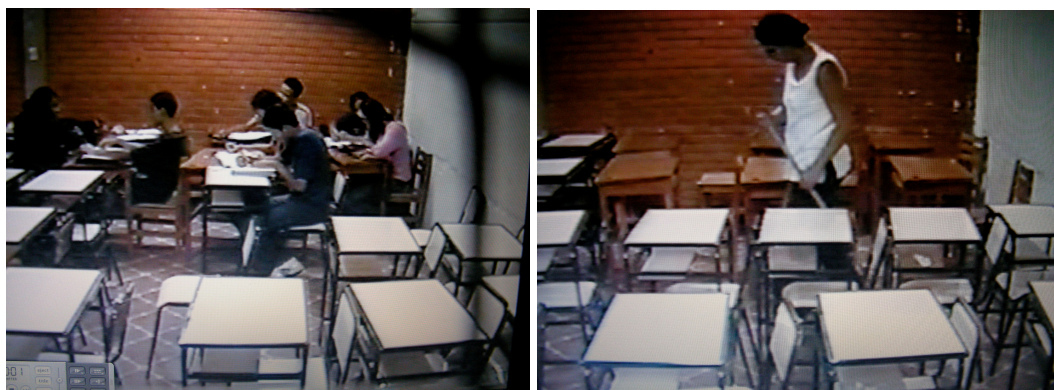




Figura B.2 Fotos do Ensaio de Usabilidade

#### B.4.2. Ensaio de Resistência, Estabilidade e Dimensional

Já os resultados de cada ensaio de resistência propostos pela NBR 14006/2003 conferem ao protótipo quando positivo, a condição de Conforme (C) e quando negativo, a condição de Não-Conforme (NC), além de ter que ser corrigida a não-conformidade. No estudo em questão, os resultados obtidos na avaliação dos ensaios com a carteira escolar estão relacionados nas tabelas B.3 e B.4, destacando que o símbolo (-) significa que não foi realizado aquele tipo de avaliação.

TABELA B.3

Avaliação das dimensões da cadeira escolar (dimensões em mm)

Dimensões avaliadas		encontrado	normativo	resultado
b <sub>3</sub>	Largura mínima do assento	385	390	NC
b <sub>4</sub>	Largura mínima do encosto	355	350	C
h <sub>5</sub>	Altura do assento	415	420 +- 10	C
h <sub>6</sub>	Altura máxima do vão entre a superfície do assento e a base do encosto	140	170	C
h <sub>7</sub>	Altura mínima e máxima até a borda superior do encosto	345	330 360	C
h <sub>8</sub>	Altura da aba frontal do assento	30	35 +- 5mm	C
t <sub>4</sub>	Profundidade do assento	370	380 +- 10	C

TABELA B.4

Avaliação das dimensões da mesa escolar (dimensões em mm)

Dimensões avaliadas		encontrado	normativo	resultado
b <sub>1</sub>	Largura mínima do tampo	610	600	C
b <sub>2</sub>	Largura mínima do espaço para as pernas	500	470	C
				C
h <sub>1</sub>	Altura do tampo	710	700 +- 10mm	C
h <sub>2</sub>	Altura mínima para movimentação das coxas	595	590	C
h <sub>3</sub>	Altura mínima para movimentação dos joelhos	595	450	C
h <sub>4</sub>	Altura mínima para posicionamento de obstáculos na área de movimentação da perna	320	350	NC
t <sub>1</sub>	Profundidade mínima do tampo	450	450	C
t <sub>2</sub>	Profundidade mínima do espaço para as pernas	400	400	C
t <sub>3</sub>	Profundidade mínima para movimentação das pernas	400	450	NC

Como pode ser constatado, apenas as dimensões largura do assento da cadeira e altura para posicionamento de obstáculos na área de movimentação da perna e profundidade para movimentação das pernas da mesa não estavam de acordo com as propostas pela norma. Apesar disso, os ensaios de resistência foram realizados com esses exemplares, e o resultado apresenta-se exposto nas tabelas B.5 e B.6.

TABELA B.5

Avaliação da resistência mecânica e estabilidade da mesa escolar

Resistência mecânica e estabilidade da mesa escolar	resultado
Ensaio de carga estática vertical	C
Ensaio de sustentação de carga	C
Ensaio de carga estática horizontal	C
Ensaio de impacto vertical	C
Ensaio de queda	NC
Ensaio de tombamento	NC
Ensaio de estabilidade – impacto lateral	C

TABELA B.6

Avaliação da resistência mecânica e estabilidade da cadeira escolar

Resistência mecânica e estabilidade da cadeira escolar	resultado
Ensaio de carga estática no assento	C
Ensaio de carga estática no encosto	C
Ensaio de carga de fadiga no assento	C
Ensaio de carga de fadiga no encosto	C
Ensaio de resistência a esforços em uma perna frontal da cadeira	NC
Ensaio de impacto no assento	C
Ensaio de impacto no encosto	C
Ensaio de queda da cadeira	NC
Ensaio de impacto no canto superior do encosto	NC
Ensaio de impacto no topo do encosto	NC
Ensaio de impacto na face posterior do encosto	NC
Ensaio de impacto no canto frontal do assento	NC
Ensaio das ponteiros	-
Ensaio do apoio para os pés	C
Ensaio de estabilidade da cadeira – tombamento frontal e lateral	C
Ensaio de estabilidade da cadeira – tombamento para trás	C

Após a realização dos ensaios de resistência e estabilidade, os danos observados foram registrados e as figuras B.3 e B.4 apresentam as fotos que ilustram o ocorrido.



Figura B.3 Rupturas no encosto da cadeira ocorrido no ensaio de queda



Figura B.4 Afrouxamento de ligações ocorridas no apóia-pé da cadeira, na trava do assento e afrouxamento no tampo da mesa

Além disso, ocorreu também a ruptura da perna frontal da cadeira no ensaio de avaliação desse elemento. Partindo do pressuposto de que os ensaios de queda e de impacto deveriam ser eliminados da norma, conforme já explicado, a não-conformidade do conjunto-aluno analisado ocorreu apenas nos ensaios de resistência em uma perna frontal da cadeira e de tombamento da mesa.

### **B.5. Recomendações**

Levando-se em considerações os resultados expostos anteriormente, propõem-se alterações no desenho final do conjunto-aluno aqui estudado, conforme destacado na figura B.5 e tabelas B.7 e B.8.



Figura B.5 Foto do conjunto-aluno modificado

TABELA B.7  
Modificações da cadeira escolar

<b>Modificações da cadeira escolar</b>	<b>Dimensões (mm)</b>	<b>Motivos</b>
Largura do assento	de 385 para 390	1) Atendimento à NBR 14006/2003 que determina como largura do assento o valor de 390mm.
Altura do assento	de 400 para 420	1) Atendimento à NBR 14006/2003 que determina como altura do assento o valor de $420 \pm 10$ mm; 2) Atendimento ao Ensaio de Usabilidade no qual a postura inclinada de alguns alunos sugeria que o assento da cadeira estava baixo, além do fato de alguns alunos colocarem os pés para frente ou para trás, sinal também de baixa superfície do assento.
Altura total da cadeira	de 748,5 para 778	1) Em consequência do aumento da altura do assento.
Altura dos Pés Traseiros	de 748,5 para 778	1) Em consequência do aumento da altura do assento.
Altura dos Pés Dianteiros	de 395 para 415	1) Em consequência do aumento da altura do assento.
Alteração da localização da Travessa Posterior Inferior, doravante denominada Travessa Frontal Inferior	da parte posterior para a parte frontal da cadeira a uma altura de 218	1) Atendimento ao Ensaio de Resistência no qual ocorreu a ruptura do pé dianteiro; 2) Atendimento ao Ensaio de Usabilidade uma vez que o usuário, ao colocar as pernas para trás, não mais machucará a parte inferior traseira das pernas.
Mudança no diâmetro das cavilhas e da distância entre eixo das cavilhas e borda lateral das peças	de 8 para 6	1) Adequação da NBR 7190/1997 a qual determina a distância mínima de 1,5 do diâmetro da cavilha entre eixo do furo para cavilha e borda lateral.

TABELA B.8  
Modificações da mesa escolar

<b>Modificações da mesa escolar</b>	<b>Dimensões (mm)</b>	<b>Motivos</b>
Comprimento da Travessa Lateral Inferior	de 350 para 390	1) Atendimento à NBR 14006/2003 que determina a profundidade mínima para movimentação das pernas de 450mm
Deslocamento da Travessa Traseira Inferior	de 275 para 350 de altura	1) Atendimento à NBR 14006/2003 que determina a altura mínima para posicionamento de obstáculos na área de movimentação da perna – 350mm; 2) Atendimento ao Ensaio de Usabilidade no qual um aluno, durante a entrevista, reclamou que a trava incomoda a coxa da perna.
Comprimento da Travessa Lateral Superior	comprimento de 350 para 388	1) Em consequência do aumento do comprimento da Travessa Lateral Inferior
Acréscimo de dois furos na Travessa Lateral Superior	acréscimo de dois furos para cavilhas no topo da peça, para maior resistência	1) Atendimento ao Ensaio de Resistência no qual, durante o ensaio de queda, verificou-se o afrouxamento da ligação entre pés e tampo.
Comprimento dos Pés Traseiros e Dianteiros	de 690 para 688	1) Atendimento à NBR 14006/2003 que determina a altura do tampo de $700 \pm 10$ mm e a altura mínima para movimentação de 590mm; 2) Atendimento ao Ensaio de Usabilidade no qual um aluno, durante entrevista, declarou que a mesa era um pouco mais alta que a padrão.
Modificação na forma e dimensão do Tampo Trapézio doravante denominado Tampo	de trapezoidal para retangular de 602 x 450 x 22 para 600 x 485 x 22	1) Atendimento à NBR 14006/2003 que determina a largura mínima do tampo de 600mm e profundidade mínima do tampo de 450mm; 2) Atendimento ao Ensaio de Usabilidade no qual alguns alunos, durante a entrevista, consideraram ruim a superfície da mesa, principalmente, para quem assenta próximo à parede da sala (por causa da inclinação do tampo) e para executar trabalhos em dupla (por causa da inclinação do tampo).

TABELA B.8 (continuação)

<b>Modificações da mesa escolar</b>	<b>Dimensões (mm)</b>	<b>Motivos</b>
Acréscimo de porta-lápis		1) Atendimento ao Ensaio de Usabilidade no qual foi sugerido uma trava para que o lápis não caia no chão quando rola na superfície que é lisa.
Mudança no diâmetro das cavilhas e da distância entre eixo das cavilhas e borda lateral das peças	de 8 para 6	1) Adequação da NBR 7190/1997 a qual determina a distância mínima de 1,5 do diâmetro da cavilha entre eixo do furo para cavilha e borda lateral.

## **B.6. Conclusão**

O uso de um conjunto-aluno confortável e seguro contribui, indubitavelmente, para a melhoria da qualidade de vida dos usuários e, possivelmente, colabora para um aumento no rendimento escolar. Entretanto, vale ressaltar que o design de móveis é apenas um aspecto de um problema multidisciplinar, devendo ser observado também fatores como espaço físico, organização escolar, além da prática pedagógica adotada, conforme estudo apresentado no anexo A.

Compreender a maneira como os móveis escolares são usados (ensaios de usabilidade) e conseguir avaliar essa realidade a partir de ensaios de resistência e estabilidade é garantir uma maior durabilidade e segurança desses objetos e uma melhoria na qualidade de vida dos alunos.

De qualquer maneira, percebeu-se que o trabalho realizado por uma equipe multidisciplinar favoreceu o desenvolvimento do trabalho, transformando este estudo numa rica experiência em prol do objetivo que era de redesenhar um mobiliário escolar a partir de ensaios de usabilidade e de resistência.

## **ANEXO C**

Nesta etapa do estudo, apresentam-se os dados detalhados resultantes dos ensaios e dos estudos comparativos com a ligação cavilhada e a espigada.

TABELA C.1  
Resultados dos ensaios com cavilha em peças de *E. Grandis*

amostra	CP	Diâmetro cavilha (cm)	Comprimento embutimento cavilha (cm)	Adesivo	Densidade aparente (kg/m <sup>3</sup> )	Compressão paralela fc,0(MPa)	Carga limite de proporcionalidade (N)	Carga de ruptura (N)	Rigidez rotacional (kN.cm/rad)
g	1	0,6	5	pva	614,13	55,58	172	263	4,02E+02
	2				479,79	49,54	164	299	3,68E+02
	3				479,79	49,54	165	279	4,02E+02
	4				479,79	49,54	167	296	3,97E+02
	5				479,79	49,54	156	292	3,69E+02
	6				ensaio incompleto				
<b>média g</b>					<b>506,66</b>	<b>50,75</b>	<b>165</b>	<b>286</b>	<b>3,88E+02</b>
<b>desvio padrao g</b>					<b>60</b>	<b>3</b>	<b>6</b>	<b>15</b>	<b>1,75E+01</b>
h	1	0,6	6,5	pva	538,26	72,86	243	344	4,21E+02
	2				532,61	56,76	246	357	4,16E+02
	3				628,76	75,49	244	377	4,03E+02
	4				628,76	75,49	247	365	4,28E+02
	5				532,61	56,76	244	360	4,19E+02
	6				479,79	49,54	246	329	4,39E+02
<b>média h</b>					<b>556,80</b>	<b>64,48</b>	<b>245</b>	<b>356</b>	<b>4,21E+02</b>
<b>desvio padrao h</b>					<b>60</b>	<b>11</b>	<b>2</b>	<b>17</b>	<b>1,22E+01</b>
m	1	0,6	8	pva	628,76	75,49	308	444	4,98E+02
	2				628,76	75,49	309	417	4,46E+02
	3				628,76	75,49	306	429	4,94E+02
	4				628,76	75,49	301	428	4,97E+02
	5				628,76	75,49	308	419	4,89E+02
	6				628,76	75,49	309	434	4,75E+02
<b>média m</b>					<b>628,76</b>	<b>75,49</b>	<b>307</b>	<b>429</b>	<b>4,83E+02</b>
<b>desvio padrao m</b>					<b>0</b>	<b>0</b>	<b>3</b>	<b>10</b>	<b>2,03E+01</b>
i	1	0,8	5	pva	479,79	49,54	227	358	4,45E+02
	2				628,76	75,49	226	368	4,34E+02
	3				628,76	75,49	225	387	4,00E+02
	4				628,76	75,49	211	364	4,33E+02
	5				557,29	65,34	209	376	4,27E+02
	6				628,76	75,49	221	356	4,49E+02
<b>média i</b>					<b>592,02</b>	<b>69,47</b>	<b>220</b>	<b>368</b>	<b>4,31E+02</b>
<b>desvio padrao i</b>					<b>62</b>	<b>11</b>	<b>8</b>	<b>11</b>	<b>1,72E+01</b>

TABELA C.1 (continuação)

amostra	CP	Diâmetro cavilha (cm)	Comprimento embutimento cavilha (cm)	Adesivo	Densidade aparente (kg/m <sup>3</sup> )	Compressão paralela fc,0(MPa)	Carga limite de proporcionalidade (N)	Carga de ruptura (N)	Rigidez rotacional (kN.cm/rad)
j	1	0,8	6,5	pva	628,76	75,49	273	434	5,17E+02
	2				628,76	75,49	279	449	5,03E+02
	3				479,79	49,54	288	455	5,03E+02
	4				471,74	59,96	284	430	5,02E+02
	5				628,76	75,49	285	447	5,03E+02
	6				479,79	49,54	283	440	5,24E+02
<b>média j</b>					<b>552,93</b>	<b>64,25</b>	<b>282</b>	<b>443</b>	<b>5,09E+02</b>
<b>desvio padrao j</b>					<b>83</b>	<b>13</b>	<b>5</b>	<b>9</b>	<b>9,39E+00</b>
n	1	0,8	8	pva	556,21	65,51	355	555	5,84E+02
	2				628,76	75,49	360	549	5,73E+02
	3				628,76	75,49	365	554	5,54E+02
	4				628,76	75,49	349	525	5,51E+02
	5				628,76	75,49	347	534	5,34E+02
	6				628,76	75,49	346	527	5,62E+02
<b>média n</b>					<b>616,66</b>	<b>73,83</b>	<b>354</b>	<b>541</b>	<b>5,60E+02</b>
<b>desvio padrao n</b>					<b>30</b>	<b>4</b>	<b>8</b>	<b>14</b>	<b>1,73E+01</b>
k	1	1	5	pva	435,97	56,51	309	450	4,81E+02
	2				628,76	75,49	309	417	4,85E+02
	3				628,76	75,49	304	428	4,71E+02
	4				628,76	75,49	308	434	4,93E+02
	5				628,76	75,49	302	422	4,78E+02
	6				628,76	75,49	314	416	4,58E+02
<b>média k</b>					<b>596,62</b>	<b>72,33</b>	<b>308</b>	<b>428</b>	<b>4,78E+02</b>
<b>desvio padrao k</b>					<b>79</b>	<b>8</b>	<b>4</b>	<b>13</b>	<b>1,19E+01</b>
l	1	1	6,5	pva	628,76	75,49	353	562	5,26E+02
	2				628,76	75,49	351	566	5,34E+02
	3				628,76	75,49	344	583	5,01E+02
	4				628,76	75,49	348	556	5,54E+02
	5				628,76	75,49	344	554	5,31E+02
	6				628,76	75,49	341	573	5,30E+02
<b>média l</b>					<b>628,76</b>	<b>75,49</b>	<b>347</b>	<b>566</b>	<b>5,29E+02</b>
<b>desvio padrao l</b>					<b>0</b>	<b>0</b>	<b>5</b>	<b>11</b>	<b>1,69E+01</b>
o	1	1	8	pva	556,21	65,51	419	606	5,94E+02
	2				556,21	65,51	406	592	6,04E+02
	3				628,76	75,49	408	645	6,01E+02
	4				628,76	75,49	408	610	6,25E+02
	5				628,76	75,49	410	595	6,51E+02
	6				628,76	75,49	393	597	6,25E+02
<b>média o</b>					<b>604,57</b>	<b>72,16</b>	<b>407</b>	<b>607</b>	<b>6,17E+02</b>
<b>desvio padrao o</b>					<b>37</b>	<b>5</b>	<b>8</b>	<b>20</b>	<b>2,11E+01</b>

TABELA C.1 (continuação)

Amostra	CP	Diâmetro cavilha (cm)	Comprimento embutimento cavilha (cm)	Adesivo	Densidade aparente (kg/m <sup>3</sup> )	Compressão paralela fc,0(MPa)	Carga limite de proporcionalidade (N)	Carga de ruptura (N)	Rigidez rotacional (kN.cm/rad)
g	1	0,6	5	cas	479,79	49,54	151	335	3,63E+02
	2				576,25	60,54	165	327	3,64E+02
	3				479,79	49,54	156	330	3,35E+02
	4				586,11	54,67	155	328	3,78E+02
	5				479,79	49,54	150	304	3,44E+02
	6				745,42	62,55	172	321	3,88E+02
<b>média g</b>					<b>557,86</b>	<b>54,40</b>	<b>158</b>	<b>324</b>	<b>3,62E+02</b>
<b>desvio padrao g</b>					<b>104</b>	<b>6</b>	<b>8</b>	<b>11</b>	<b>2,01E+01</b>
h	1	0,6	6,5	cas	479,79	49,54	207	361	4,57E+02
	2				479,79	49,54	194	336	4,62E+02
	3				564,32	60,42	199	346	4,65E+02
	4				600,38	68,1	206	356	4,76E+02
	5				479,79	49,54	198	355	4,53E+02
	6				608,01	59,91	205	352	4,61E+02
<b>média h</b>					<b>535,35</b>	<b>56,18</b>	<b>202</b>	<b>351</b>	<b>4,63E+02</b>
<b>desvio padrao h</b>					<b>63</b>	<b>8</b>	<b>5</b>	<b>9</b>	<b>7,90E+00</b>
m	1	0,6	8	cas	479,79	49,54	230	433	5,59E+02
	2				556,21	65,51	224	434	5,80E+02
	3				627,92	74,82	228	428	5,74E+02
	4				627,92	74,82	228	435	5,49E+02
	5				627,92	74,82	239	458	5,57E+02
	6				627,92	74,82	234	449	5,72E+02
<b>média m</b>					<b>591,28</b>	<b>69,06</b>	<b>230</b>	<b>439</b>	<b>5,65E+02</b>
<b>desvio padrao m</b>					<b>62</b>	<b>10</b>	<b>5</b>	<b>11</b>	<b>1,18E+01</b>
i	1	0,8	5	cas	514,63	61,34	201	363	5,09E+02
	2				627,92	74,82	202	354	5,01E+02
	3				627,92	74,82	201	355	5,08E+02
	4				514,63	61,34	192	359	4,93E+02
	5				514,63	61,34	203	376	4,77E+02
	6				627,92	74,82	205	357	4,90E+02
<b>média i</b>					<b>571,28</b>	<b>68,08</b>	<b>201</b>	<b>361</b>	<b>4,96E+02</b>
<b>desvio padrao i</b>					<b>62</b>	<b>7</b>	<b>5</b>	<b>8</b>	<b>1,23E+01</b>
j	1	0,8	6,5	cas	479,79	49,54	252	467	5,09E+02
	2				479,79	49,54	254	455	5,18E+02
	3				627,92	74,82	246	483	5,36E+02
	4				479,79	49,54	257	484	5,36E+02
	5				479,79	49,54	249	476	5,27E+02
	6				479,79	49,54	257	473	5,37E+02
<b>média j</b>					<b>504,48</b>	<b>53,75</b>	<b>253</b>	<b>473</b>	<b>5,27E+02</b>
<b>desvio padrao j</b>					<b>60</b>	<b>10</b>	<b>4</b>	<b>11</b>	<b>1,15E+01</b>
n	1	0,8	8	cas	627,92	74,82	318	569	6,08E+02
	2				627,92	74,82	327	562	6,24E+02
	3				627,92	74,82	318	556	6,01E+02
	4				627,92	74,82	321	550	6,10E+02
	5				627,92	74,82	324	552	6,11E+02
	6				627,92	74,82	330	555	6,34E+02
<b>média n</b>					<b>627,92</b>	<b>74,82</b>	<b>323</b>	<b>557</b>	<b>6,14E+02</b>
<b>desvio padrao n</b>					<b>0</b>	<b>0</b>	<b>5</b>	<b>7</b>	<b>1,20E+01</b>

TABELA C.1 (continuação)

Amostra	CP	Diâmetro cavilha (cm)	Comprimento embutimento cavilha (cm)	Adesivo	Densidade aparente (kg/m <sup>3</sup> )	Compressão paralela fc,0(MPa)	Carga limite de proporcionalidade (N)	Carga de ruptura (N)	Rigidez rotacional (kN.cm/rad)
k	1	1	5	cas	627,92	74,82	250	425	5,81E+02
	2				479,79	49,54	244	475	5,96E+02
	3				627,92	74,82	247	475	5,83E+02
	4				470,53	58,16	264	483	5,99E+02
	5				627,92	74,82	241	482	5,99E+02
	6				552,38	66,16	253	486	5,96E+02
<b>média k</b>					<b>564,41</b>	<b>66,39</b>	<b>250</b>	<b>471</b>	<b>5,92E+02</b>
<b>desvio padrao k</b>					<b>75</b>	<b>11</b>	<b>8</b>	<b>23</b>	<b>8,38E+00</b>
l	1	1	6,5	cas	568,15	65,53	321	576	6,51E+02
	2				627,92	74,82	328	548	6,42E+02
	3				652,50	71,19	327	555	6,30E+02
	4				627,92	74,82	332	555	6,50E+02
	5				627,92	74,82	337	553	6,50E+02
	6				627,92	74,82	334	552	6,39E+02
<b>média l</b>					<b>622,06</b>	<b>72,67</b>	<b>330</b>	<b>557</b>	<b>6,44E+02</b>
<b>desvio padrao l</b>					<b>28</b>	<b>4</b>	<b>6</b>	<b>10</b>	<b>8,36E+00</b>
o	1	1	8	cas	627,92	74,82	398	623	7,13E+02
	2				627,92	74,82	402	636	7,18E+02
	3				627,92	74,82	403	614	7,16E+02
	4				ensaio incompleto				
	5				ensaio incompleto				
	6				ensaio incompleto				
<b>média o</b>					<b>627,92</b>	<b>74,82</b>	<b>401</b>	<b>624</b>	<b>7,16E+02</b>
<b>desvio padrao o</b>					<b>0</b>	<b>0</b>	<b>3</b>	<b>11</b>	<b>2,79E+02</b>

TABELA C.2  
Resultados dos ensaios com cavilha em peças de *E. Cloeziana*

Amostra	CP	Diâmetro cavilha (cm)	Comprimento embutimento cavilha (cm)	Adesivo	Densidade aparente (kg/m <sup>3</sup> )	Compressão paralela fc,0(MPa)	Carga limite de proporcionalidade (N)	Carga de ruptura (N)	Rigidez rotacional (kN.cm/rad)
g	1	0,6	5	pva	753,5	75,21	177	279	4,35E-01
	2				805,09	58,19	188	293	4,77E-01
	3				986,43	55,91	175	281	4,63E-01
	4				805,09	58,19	175	307	4,68E-01
	5				805,09	58,19	182	300	4,75E-01
	6				753,5	75,21	173	306	4,21E-01
<b>média g</b>					<b>818,12</b>	<b>63,48</b>	<b>179</b>	<b>294</b>	<b>4,56E-01</b>
<b>desvio padrao g</b>					<b>86</b>	<b>9</b>	<b>6</b>	<b>12</b>	<b>2,29E-02</b>
h	1	0,6	6,5	pva	789,99	72,84	250	331	5,11E-01
	2				661,73	66,1	246	328	5,49E-01
	3				532,2	84,73	266	315	5,32E-01
	4				904,84	74,93	259	322	5,63E-01
	5				753,5	75,21	255	323	5,14E-01
	6				789,99	72,84	266	326	5,06E-01
<b>média h</b>					<b>738,71</b>	<b>74,44</b>	<b>257</b>	<b>324</b>	<b>5,29E-01</b>
<b>desvio padrao h</b>					<b>128</b>	<b>6</b>	<b>9</b>	<b>6</b>	<b>2,27E-02</b>
m	1	0,6	8	pva	753,5	75,21	308	424	6,31E-01
	2				753,5	75,21	317	418	6,22E-01
	3				753,5	75,21	314	414	6,70E-01
	4				603,5	84,73	309	431	6,77E-01
	5				653,5	84,73	308	428	6,85E-01
	6				753,5	75,21	303	407	6,43E-01
<b>média m</b>					<b>711,83</b>	<b>78,38</b>	<b>310</b>	<b>420</b>	<b>6,55E-01</b>
<b>desvio padrao m</b>					<b>66</b>	<b>5</b>	<b>5</b>	<b>9</b>	<b>2,61E-02</b>
i	1	0,8	5	pva	838,06	68,15	240	318	5,44E-01
	2				764,01	80,94	241	302	5,27E-01
	3				788,35	76,18	256	287	5,39E-01
	4				764,01	80,94	246	294	5,32E-01
	5				838,06	68,15	253	288	5,26E-01
	6				838,06	68,15	249	315	5,40E-01
<b>média i</b>					<b>805,09</b>	<b>73,75</b>	<b>248</b>	<b>300</b>	<b>5,35E-01</b>
<b>desvio padrao i</b>					<b>37</b>	<b>6</b>	<b>6</b>	<b>13</b>	<b>7,30E-03</b>
j	1	0,8	6,5	pva	753,5	75,21	311	417	6,84E-01
	2				532,20	88,04	306	436	6,77E-01
	3				865,65	79,45	312	425	6,84E-01
	4				761,15	50,92	311	398	7,08E-01
	5				753,5	75,21	304	420	6,97E-01
	6				532,20	88,04	324	385	7,07E-01
<b>média j</b>					<b>699,70</b>	<b>76,15</b>	<b>311</b>	<b>414</b>	<b>6,93E-01</b>
<b>desvio padrao j</b>					<b>137</b>	<b>14</b>	<b>7</b>	<b>19</b>	<b>1,31E-02</b>
n	1	0,8	8	pva	532,2	88,04	348	449	7,58E-01
	2				853,5	60,21	352	459	7,86E-01
	3				853,5	50,21	350	479	7,93E-01
	4				853,5	50,21	348	487	7,82E-01
	5				ensaio incompleto				
	6				ensaio incompleto				
<b>média n</b>					<b>773,18</b>	<b>62,17</b>	<b>350</b>	<b>468</b>	<b>7,80E-01</b>
<b>desvio padrao n</b>					<b>161</b>	<b>18</b>	<b>2</b>	<b>18</b>	<b>1,51E-02</b>

TABELA C.2 (continuação)

Amostra	CP	Diâmetro cavilha (cm)	Comprimento embutimento cavilha (cm)	Adesivo	Densidade aparente (kg/m <sup>3</sup> )	Compressão paralela fc,0(MPa)	Carga limite de proporcionalidade (N)	Carga de ruptura (N)	Rigidez rotacional (kN.cm/rad)
k	1	1	5	pva	675,70	48,91	304	404	5,53E-01
	2				862,99	50,02	328	401	5,71E-01
	3				840,23	46,73	314	417	5,66E-01
	4				904,84	43,41	316	402	5,83E-01
	5				840,23	46,73	318	406	5,46E-01
	6				904,84	46,73	311	414	6,04E-01
<b>média k</b>					<b>838,14</b>	<b>47,09</b>	<b>315</b>	<b>407</b>	<b>5,70E-01</b>
<b>desvio padrao k</b>					<b>85</b>	<b>2</b>	<b>8</b>	<b>7</b>	<b>2,10E-02</b>
l	1	1	6,5	pva	532,20	43,41	393	480	6,82E-01
	2				532,20	43,41	401	471	6,51E-01
	3				753,40	75,21	396	458	7,21E-01
	4				753,40	75,21	396	473	6,87E-01
	5				798,11	62,25	414	462	7,37E-01
	6				753,40	75,21	393	478	6,91E-01
<b>média l</b>					<b>687,12</b>	<b>62,45</b>	<b>399</b>	<b>470</b>	<b>6,95E-01</b>
<b>desvio padrao l</b>					<b>121</b>	<b>16</b>	<b>8</b>	<b>9</b>	<b>3,05E-02</b>
o	1	1	8	pva	753,5	60,21	468	536	8,05E-01
	2				533,5	85,21	462	530	8,34E-01
	3				553,5	85,21	464	537	8,17E-01
	4				753,5	75,21	463	514	8,07E-01
	5				753,5	60,21	459	507	8,39E-01
	6				753,5	75,21	451	525	8,38E-01
<b>média o</b>					<b>683,50</b>	<b>73,54</b>	<b>461</b>	<b>525</b>	<b>8,23E-01</b>
<b>desvio padrao o</b>					<b>109</b>	<b>11</b>	<b>6</b>	<b>12</b>	<b>1,55E-02</b>

Amostra	CP	Diâmetro cavilha (cm)	Comprimento embutimento cavilha (cm)	Adesivo	Densidade aparente (kg/m <sup>3</sup> )	Compressão paralela fc,0(MPa)	Carga limite de proporcionalidade (N)	Carga de ruptura (N)	Rigidez rotacional (kN.cm/rad)
g	1	0,6	5	cas	664,54	62,89	145	254	4,16E+02
	2				753,5	75,21	163	254	3,97E+02
	3				630,27	68,93	152	252	4,06E+02
	4				664,54	62,89	147	234	4,12E+02
	5				743,85	59,3	157	230	4,12E+02
	6				615,62	48,83	140	228	3,80E+02
<b>média g</b>					<b>678,72</b>	<b>63,01</b>	<b>151</b>	<b>242</b>	<b>4,04E+02</b>
<b>desvio padrao g</b>					<b>58</b>	<b>9</b>	<b>8</b>	<b>13</b>	<b>1,35E+01</b>
h	1	0,6	6,5	cas	553,5	86,67	186	379	4,75E+02
	2				615,62	82,03	176	365	4,65E+02
	3				615,62	82,03	190	352	4,52E+02
	4				553,5	86,67	183	372	5,02E+02
	5				670,16	59,3	173	350	4,88E+02
	6				577,70	86,67	181	357	4,47E+02
<b>média h</b>					<b>597,68</b>	<b>80,56</b>	<b>182</b>	<b>362</b>	<b>4,71E+02</b>
<b>desvio padrao h</b>					<b>45</b>	<b>11</b>	<b>6</b>	<b>12</b>	<b>2,12E+01</b>

TABELA C.2 (continuação)

Amostra	CP	Diâmetro cavilha (cm)	Comprimento embutimento cavilha (cm)	Adesivo	Densidade aparente (kg/m <sup>3</sup> )	Compressão paralela fc,0(MPa)	Carga limite de proporcionalidade (N)	Carga de ruptura (N)	Rigidez rotacional (kN.cm/rad)
m	1	0,6	8	cas	532,2	82,03	234	405	5,95E+02
	2				532,2	82,03	232	407	6,02E+02
	3				532,2	82,03	231	415	6,19E+02
	4				532,2	82,03	235	403	6,24E+02
	5				532,2	82,03	222	412	6,05E+02
	6				532,2	82,03	228	406	5,76E+02
<b>média m</b>					<b>532,20</b>	<b>82,03</b>	<b>230</b>	<b>408</b>	<b>6,04E+02</b>
<b>desvio padrao m</b>					<b>0</b>	<b>0</b>	<b>5</b>	<b>5</b>	<b>1,73E+01</b>
i	1	0,8	5	cas	877,90	75,21	208	352	4,86E+02
	2				797,10	59,3	202	306	4,43E+02
	3				877,90	75,21	200	316	4,43E+02
	4				797,10	59,3	192	325	4,23E+02
	5				797,10	59,3	203	314	4,25E+02
	6				797,10	59,3	208	329	4,43E+02
<b>média i</b>					<b>824,04</b>	<b>64,60</b>	<b>202</b>	<b>324</b>	<b>4,44E+02</b>
<b>desvio padrao i</b>					<b>42</b>	<b>8</b>	<b>6</b>	<b>16</b>	<b>2,26E+01</b>
j	1	0,8	6,5	cas	553,5	86,67	256	409	5,27E+02
	2				553,5	86,67	251	409	5,59E+02
	3				653,5	86,67	255	403	5,19E+02
	4				753,5	75,21	269	405	5,19E+02
	5				867,90	70,21	257	395	5,47E+02
	6				867,90	65,21	257	402	5,11E+02
<b>média j</b>					<b>708,30</b>	<b>78,44</b>	<b>258</b>	<b>404</b>	<b>5,30E+02</b>
<b>desvio padrao j</b>					<b>144</b>	<b>10</b>	<b>6</b>	<b>5</b>	<b>1,84E+01</b>
n	1	0,8	8	cas	753,5	55,21	308	476	6,63E+02
	2				753,5	55,21	316	501	6,56E+02
	3				753,5	75,21	306	509	7,42E+02
	4				532,2	82,03	308	489	7,43E+02
	5				553,5	86,67	312	526	6,93E+02
	6				653,5	75,21	310	516	7,22E+02
<b>média n</b>					<b>666,62</b>	<b>71,59</b>	<b>310</b>	<b>503</b>	<b>7,03E+02</b>
<b>desvio padrao n</b>					<b>104</b>	<b>13</b>	<b>4</b>	<b>18</b>	<b>3,84E+01</b>
k	1	1	5	cas	781,56	78,87	263	441	6,33E+02
	2				553,50	82,03	256	416	6,45E+02
	3				645,02	82,03	252	409	6,55E+02
	4				553,50	82,03	253	406	6,50E+02
	5				745,02	82,03	250	409	6,47E+02
	6				745,02	82,03	264	410	6,45E+02
<b>média k</b>					<b>670,60</b>	<b>81,50</b>	<b>256</b>	<b>415</b>	<b>6,46E+02</b>
<b>desvio padrao k</b>					<b>101</b>	<b>1</b>	<b>6</b>	<b>13</b>	<b>7,42E+00</b>
l	1	1	6,5	cas	532,2	82,03	300	507	8,04E+02
	2				532,2	82,03	307	506	7,69E+02
	3				553,5	82,03	300	510	7,56E+02
	4				714,44	63,36	321	518	8,01E+02
	5				553,5	82,03	307	503	7,82E+02
	6				553,5	82,03	304	504	8,03E+02
<b>média l</b>					<b>573,22</b>	<b>78,92</b>	<b>306</b>	<b>508</b>	<b>7,86E+02</b>
<b>desvio padrao l</b>					<b>70</b>	<b>8</b>	<b>8</b>	<b>5</b>	<b>2,03E+01</b>

TABELA C.2 (continuação)

Amostra	CP	Diâmetro cavilha (cm)	Comprimento embutimento cavilha (cm)	Adesivo	Densidade aparente (kg/m <sup>3</sup> )	Compressão paralela f <sub>c,0</sub> (MPa)	Carga limite de proporcionalidade (N)	Carga de ruptura (N)	Rigidez rotacional (kN.cm/rad)
o	1	1	8	cas	532,2	82,03	385	560	9,45E+02
	2				532,2	82,03	377	554	9,04E+02
	3				532,2	82,03	381	558	9,33E+02
	4				532,2	82,03	388	579	8,97E+02
	5				532,2	82,03	381	561	9,00E+02
	6				553,5	82,03	371	550	9,00E+02
<b>média o</b>					<b>535,75</b>	<b>82,03</b>	<b>381</b>	<b>560</b>	<b>9,13E+02</b>
<b>desvio padrao o</b>					<b>9</b>	<b>0</b>	<b>6</b>	<b>10</b>	<b>2,05E+01</b>

TABELA C.3  
Resultados dos ensaios com espiga em peças de *E. Grandis*

Amostra	CP	Altura pino (cm)	Comprimento embutimento (cm)	Adesivo	Densidade aparente (kg/m <sup>3</sup> )	Compressão paralela fc,0(MPa)	Carga limite proporcionalidade (N)	Carga de ruptura (N)	Rigidez rotacional (Kn.cm/rad)
a	1	2,5	1,75	pva	532,61	56,76	277	342	4,07E+02
	2				532,61	56,76	270	341	4,66E+02
	3				628,76	73,72	287	329	4,67E+02
	4				628,76	73,72	299	352	4,91E+02
	5				549,55	51,05	284	347	4,93E+02
	6				544,70	60,65	285	359	4,33E+02
<b>média a</b>					<b>569,50</b>	<b>62,11</b>	<b>284</b>	<b>345</b>	<b>4,59E+02</b>
<b>desvio padrao a</b>					<b>46,39</b>	<b>9,50</b>	<b>10</b>	<b>10</b>	<b>3,35E+01</b>
b	1	3,25	1,75	pva	865,65	51,05	312	387	5,40E+02
	2				865,65	51,05	312	389	5,12E+02
	3				549,55	51,05	313	380	5,23E+02
	4				549,55	51,05	320	381	4,93E+02
	5				549,55	51,05	326	402	5,07E+02
	6				549,55	51,05	326	392	5,35E+02
<b>média b</b>					<b>654,92</b>	<b>51,05</b>	<b>318</b>	<b>388</b>	<b>5,18E+02</b>
<b>desvio padrao b</b>					<b>163,23</b>	<b>0,00</b>	<b>7</b>	<b>8</b>	<b>1,79E+01</b>
c	1	3,25	2,5	pva	511,87	48,84	341	524	5,72E+02
	2				648,45	48,84	343	526	5,64E+02
	3				648,45	48,84	345	524	5,97E+02
	4				648,45	48,84	359	489	6,09E+02
	5				648,45	48,84	376	487	5,87E+02
	6				511,87	48,84	376	510	5,84E+02
<b>média c</b>					<b>602,92</b>	<b>48,84</b>	<b>357</b>	<b>510</b>	<b>5,86E+02</b>
<b>desvio padrao c</b>					<b>70,53</b>	<b>0,00</b>	<b>16</b>	<b>18</b>	<b>1,64E+01</b>
d	1	3,25	3,25	pva	511,87	48,84	464	631	6,12E+02
	2				648,45	48,84	464	648	5,53E+02
	3				648,45	48,84	464	653	5,49E+02
	4				648,45	48,84	464	608	6,12E+02
	5				544,70	60,65	464	659	5,68E+02
	6				511,87	48,84	464	566	6,30E+02
<b>média d</b>					<b>585,63</b>	<b>50,81</b>	<b>464</b>	<b>628</b>	<b>5,87E+02</b>
<b>desvio padrao d</b>					<b>69,85</b>	<b>4,82</b>	<b>0</b>	<b>35</b>	<b>3,47E+01</b>
e	1	4,25	1,75	pva	648,45	48,84	345	457	6,40E+02
	2				648,45	48,84	347	415	6,67E+02
	3				648,45	48,84	343	451	6,90E+02
	4				648,45	48,84	375	435	6,86E+02
	5				648,45	48,84	373	434	6,26E+02
	6				648,45	48,84	371	446	6,22E+02
<b>média e</b>					<b>648,45</b>	<b>48,84</b>	<b>359</b>	<b>440</b>	<b>6,55E+02</b>
<b>desvio padrao e</b>					<b>0,00</b>	<b>0,00</b>	<b>15</b>	<b>15</b>	<b>2,99E+01</b>
f	1	5	1,75	pva	544,37	60,03	427	451	8,20E+02
	2				623,55	71,97	427	479	8,71E+02
	3				518,24	54,63	427	492	8,13E+02
	4				470,53	58,16	427	490	8,04E+02
	5				448,21	60,16	427	510	8,16E+02
	6				533,70	54,48	427	481	7,73E+02
<b>média f</b>					<b>523,10</b>	<b>59,91</b>	<b>427</b>	<b>484</b>	<b>8,16E+02</b>
<b>desvio padrao f</b>					<b>61,73</b>	<b>6,42</b>	<b>0</b>	<b>19</b>	<b>3,18E+01</b>

TABELA C.3 (continuação)

Amostra	CP	Altura pino (cm)	Comprimento embutimento (cm)	Adesivo	Densidade aparente (kg/m <sup>3</sup> )	Compressão paralela fc,0(MPa)	Carga limite proporcionalidade (N)	Carga de ruptura (N)	Rigidez rotacional (KN.cm/rad)
a	1	2,5	1,75	cas	608,01	59,91	264	308	4,99E+02
	2				628,76	75,49	276	351	5,03E+02
	3				516,24	67,86	279	333	5,03E+02
	4				479,79	49,54	288	346	4,91E+02
	5				628,76	75,49	305	336	4,89E+02
	6				628,76	75,49	305	310	4,83E+02
<b>média a</b>					<b>581,72</b>	<b>67,30</b>	<b>286</b>	<b>331</b>	<b>4,95E+02</b>
<b>desvio padrao a</b>					<b>66,34</b>	<b>10,69</b>	<b>16</b>	<b>18</b>	<b>8,36E+00</b>
b	1	3,25	1,75	cas	576,25	60,54	315	361	6,04E+02
	2				627,92	74,82	323	362	6,22E+02
	3				576,25	60,54	344	366	6,27E+02
	4				577,11	62,33	365	378	6,49E+02
	5				627,92	74,82	381	361	6,08E+02
	6				576,25	60,54	384	361	6,18E+02
<b>média b</b>					<b>593,62</b>	<b>65,60</b>	<b>352</b>	<b>365</b>	<b>6,21E+02</b>
<b>desvio padrao b</b>					<b>26,58</b>	<b>7,18</b>	<b>29</b>	<b>7</b>	<b>1,61E+01</b>
c	1	3,25	2,5	cas	586,11	54,67	396	488	6,63E+02
	2				576,25	60,54	398	476	6,50E+02
	3				745,42	49,54	399	500	6,69E+02
	4				576,25	60,54	402	499	6,78E+02
	5				586,11	54,67	402	506	6,47E+02
	6				586,11	54,67	404	522	6,49E+02
<b>média c</b>					<b>609,37</b>	<b>55,77</b>	<b>400</b>	<b>499</b>	<b>6,59E+02</b>
<b>desvio padrao c</b>					<b>66,82</b>	<b>4,19</b>	<b>3</b>	<b>16</b>	<b>1,26E+01</b>
d	1	3,25	3,25	cas	561,76	56,04	507	581	7,52E+02
	2				745,42	49,54	521	552	7,51E+02
	3				745,42	49,54	528	543	7,05E+02
	4				554,22	64,16	530	606	6,89E+02
	5				561,76	56,04	530	626	6,86E+02
	6				479,79	49,54	533	600	7,36E+02
<b>média d</b>					<b>608,06</b>	<b>54,14</b>	<b>525</b>	<b>585</b>	<b>7,20E+02</b>
<b>desvio padrao d</b>					<b>110,79</b>	<b>5,85</b>	<b>9</b>	<b>32</b>	<b>3,03E+01</b>
e	1	4,25	1,75	cas	559,09	53,87	392	456	7,74E+02
	2				492,05	63,48	392	431	7,71E+02
	3				492,05	63,48	393	437	7,92E+02
	4				471,74	59,96	395	386	7,59E+02
	5				745,42	49,54	398	437	8,10E+02
	6				559,09	53,87	398	428	8,24E+02
<b>média e</b>					<b>553,24</b>	<b>57,37</b>	<b>394</b>	<b>429</b>	<b>7,88E+02</b>
<b>desvio padrao e</b>					<b>101,13</b>	<b>5,78</b>	<b>3</b>	<b>23</b>	<b>2,51E+01</b>
f	1	5	1,75	cas	448,15	57,54	411	469	8,65E+02
	2				573,57	63,05	413	476	8,34E+02
	3				627,92	74,82	413	482	9,50E+02
	4				470,49	58,52	438	420	8,65E+02
	5				452,30	64,9	441	462	8,87E+02
	6				550,41	67,69	443	434	8,71E+02
<b>média f</b>					<b>520,47</b>	<b>64,42</b>	<b>426</b>	<b>457</b>	<b>8,79E+02</b>
<b>desvio padrao f</b>					<b>74,35</b>	<b>6,37</b>	<b>16</b>	<b>25</b>	<b>3,89E+01</b>

TABELA C.4  
Resultados dos ensaios com espiga em peças de *E. cloeziana*

Amostra	CP	Altura pino (cm)	Comprimento embutimento (cm)	Adesivo	Densidade aparente (kg/m <sup>3</sup> )	Compressão paralela fc,0(MPa)	Carga limite proporcionalidade (N)	Carga de ruptura (N)	Rigidez rotacional (KN.cm/rad)
a	1	2,5	1,75	pva	826,26	73,02	298	400	5,75E+02
	2	2,5			818,94	79,43	294	469	5,51E+02
	3	2,5			798,01	58,19	312	476	4,99E+02
	4	2,5			798,01	58,19	315	443	5,87E+02
	5	2,5			ensaio incompleto				
	6	2,5			753,5	75,21	326	442	5,52E+02
<b>média a</b>					<b>798,94</b>	<b>68,81</b>	<b>309</b>	<b>446</b>	<b>5,53E+02</b>
<b>desvio padrao a</b>					<b>28,34</b>	<b>9,96</b>	<b>13</b>	<b>30</b>	<b>3,39E+01</b>
b	1	3,25	1,75	pva	865,65	79,45	331	509	7,02E+02
	2	3,25			764,01	70,94	336	511	6,52E+02
	3	3,25			797,10	63,57	341	512	6,22E+02
	4	3,25			797,10	63,57	347	501	6,09E+02
	5	3,25			ensaio incompleto				
	6	3,25			797,10	63,57	354	534	6,07E+02
<b>média b</b>					<b>804,20</b>	<b>68,22</b>	<b>342</b>	<b>513</b>	<b>6,38E+02</b>
<b>desvio padrao b</b>					<b>37,22</b>	<b>7,04</b>	<b>9</b>	<b>12</b>	<b>3,98E+01</b>
c	1		2,5		775,70	70,83	397	598	7,01E+02
	2				714,44	63,36	411	649	6,68E+02
	3				607,40	51,33	413	686	6,85E+02
	4				775,70	70,83	457	598	6,80E+02
	5				607,40	51,33	459	659	6,85E+02
	6				607,40	51,33	464	638	6,48E+02
<b>média c</b>					<b>681,34</b>	<b>59,84</b>	<b>433</b>	<b>638</b>	<b>6,78E+02</b>
<b>desvio padrao c</b>					<b>84,03</b>	<b>9,71</b>	<b>29</b>	<b>35</b>	<b>1,82E+01</b>
d	1		3,25	pva	583,5	84,21	516	824	7,48E+02
	2				ensaio incompleto				
	3				745,02	82,03	578	849	7,04E+02
	4				741,63	88,04	607	822	7,51E+02
	5				745,02	82,03	613	820	7,16E+02
	6				583,5	84,21	611	781	7,85E+02
<b>média d</b>					<b>679,74</b>	<b>84,10</b>	<b>585</b>	<b>819</b>	<b>7,41E+02</b>
<b>desvio padrao d</b>					<b>87,86</b>	<b>2,46</b>	<b>41</b>	<b>24</b>	<b>3,20E+01</b>
e	1	4,25	1,75	pva	765,66	84,73	387	580	8,15E+02
	2	4,25			838,06	68,15	389	549	8,23E+02
	3	4,25			583,5	84,21	425	535	8,65E+02
	4	4,25			583,5	84,21	429	556	8,22E+02
	5	4,25			765,66	84,73	432	550	8,13E+02
	6	4,25			583,5	84,21	450	555	7,99E+02
<b>média e</b>					<b>686,65</b>	<b>81,71</b>	<b>419</b>	<b>554</b>	<b>8,23E+02</b>
<b>desvio padrao e</b>					<b>116,04</b>	<b>6,65</b>	<b>25</b>	<b>15</b>	<b>2,25E+01</b>
f	1	5	1,75	pva	753,5	75,21	462	585	1,00E+03
	2	5			753,5	75,21	462	634	1,00E+03
	3	5			838,06	68,15	462	659	8,69E+02
	4	5			753,5	75,21	464	637	8,88E+02
	5	5			753,5	75,21	471	631	9,31E+02
	6	5			753,5	75,21	464	649	9,04E+02
<b>média f</b>					<b>767,59</b>	<b>74,03</b>	<b>464</b>	<b>633</b>	<b>9,32E+02</b>
<b>desvio padrao f</b>					<b>34,52</b>	<b>2,88</b>	<b>3</b>	<b>26</b>	<b>5,66E+01</b>

TABELA C.5

Estudo comparativo entre força de arrancamento experimental e calculada com a equação (1) Eckelman (1969)

amostra	madeira	adesivo	diâmetro (mm)	comprim. (mm)	S1 (MPa)	S2 (MPa)	a	b	Fa calculada (Pounds)	Fa calculada (N)	Fa experimental média(N)	Diferença
G	grandis	PVA	6	50	10	6,5	0,9	0,78	299	1328	1428	-8%
H			6	65	10	6,5	0,9	0,78	377	1678	1610	4%
M			6	80	10	6,5	0,9	0,78	454	2018	2024	0%
I			8	50	10	6,5	0,9	0,78	398	1771	1718	3%
J			8	65	10	6,5	0,9	0,78	503	2237	2031	9%
N			8	80	10	6,5	0,9	0,78	605	2691	2470	8%
K			10	50	10	6,5	0,9	0,78	498	2214	2139	3%
L			10	65	10	6,5	0,9	0,78	629	2796	2732	2%
O			10	80	10	6,5	0,9	0,78	757	3364	3185	5%

amostra	madeira	adesivo	diâmetro (mm)	comprim. (mm)	S1 (MPa)	S2 (MPa)	a	b	Fa calculada (Pounds)	Fa calculada (N)	Fa experimental média(N)	Diferença
G	grandis	cascamite	6	50	10	6,5	1	0,93	418	1860	1778	4%
H			6	65	10	6,5	1	0,93	529	2349	2420	-3%
M			6	80	10	6,5	1	0,93	636	2826	3016	-7%
I			8	50	10	6,5	1	0,93	558	2480	2341	6%
J			8	65	10	6,5	1	0,93	705	3132	3117	0%
N			8	80	10	6,5	1	0,93	848	3768	3585	5%
K			10	50	10	6,5	1	0,93	697	3100	3288	-6%
L			10	65	10	6,5	1	0,93	881	3916	3727	5%
O			10	80	10	6,5	1	0,93	1060	4710	4738	-1%

amostra	madeira	adesivo	Diâmetro (mm)	comprim. (mm)	S1 (MPa)	S2 (MPa)	a	b	Fa calculada (Pounds)	Fa calculada (N)	Fa experimental média(N)	Diferença
G	cloeziana	PVA	6	50	12,9	6,5	0,9	0,78	350	1557	1395	10%
H			6	65	12,9	6,5	0,9	0,78	442	1967	1899	3%
M			6	80	12,9	6,5	0,9	0,78	532	2366	2480	-5%
I			8	50	12,9	6,5	0,9	0,78	467	2076	1978	5%
J			8	65	12,9	6,5	0,9	0,78	590	2622	2397	9%
N			8	80	12,9	6,5	0,9	0,78	710	3155	2770	12%
K			10	50	12,9	6,5	0,9	0,78	584	2595	2465	5%
L			10	65	12,9	6,5	0,9	0,78	737	3278	2923	11%
O			10	80	12,9	6,5	0,9	0,78	887	3943	3871	2%

TABELA C.5 (continuação)

amostra	madeira	adesivo	diâmetro (mm)	comprim. (mm)	S1 (MPa)	S2 (MPa)	a	b	Fa calculada (Pounds)	Fa calculada (N)	Fa experimental média(N)	Diferença
G	cloeziana	cascamite	6	50	12,9	6,5	1	0,93	491	2180	2176	0%
H			6	65	12,9	6,5	1	0,93	620	2754	2605	5%
M			6	80	12,9	6,5	1	0,93	745	3313	3208	3%
I			8	50	12,9	6,5	1	0,93	654	2907	2686	8%
J			8	65	12,9	6,5	1	0,93	826	3672	3382	8%
N			8	80	12,9	6,5	1	0,93	994	4417	4197	5%
K			10	50	12,9	6,5	1	0,93	818	3634	3466	5%
L			10	65	12,9	6,5	1	0,93	1033	4590	4244	8%
O			10	80	12,9	6,5	1	0,93	1242	5521	4905	11%

TABELA C.6

Estudo comparativo entre momento de ruptura na flexão  $M_r$  e a calculada com as equações (2) e (3), idealizadas por Eckelman (1971b) e com a equação (4) de Zhang, Quin e Tackett (2001) – valores médios

amostra	madeira	adesivo	d2 (cm)	d1 (cm)	Fa calculada (N)	Mr calculado Eckelman (N.cm)	Mr experimental (N.cm)	Diferença	d1 (cm)	w (cm)	e	Fa (N) experimental	Mr experimental (N.cm)	Mr calculado Zhang (N.cm)	Diferença
g	grandis	PVA	0,9	3,2	1328	9698	8575	12%	3,2	5	0,02	1428	8575	4675	-83%
h			0,9	3,2	1678	12248	10667	13%	3,2	5	0,02	1610	10667	5270	-102%
m			0,9	3,2	2018	14734	12862	13%	3,2	5	0,02	2024	12862	6626	-94%
i			1,2	2,6	1771	11336	11047	3%	2,6	5	0,02	1718	11047	5107	-116%
j			1,2	2,6	2237	14317	13282	7%	2,6	5	0,02	2031	13282	6038	-120%
n			1,2	2,6	2691	17224	16226	6%	2,6	5	0,02	2470	16226	7345	-121%
k			1,5	2,0	2214	12177	12837	-5%	2	5	0,02	2139	12837	5718	-125%
l			1,5	2,0	2796	15380	16969	-10%	2	5	0,02	2732	16969	7303	-132%
o			1,5	2,0	3364	18502	18221	2%	2	5	0,02	3185	18221	8514	-114%

amostra	madeira	adesivo	d2 (cm)	d1 (cm)	Fa calculada (N)	Mr calculado Eckelman (N.cm)	Mr experimental (N.cm)	Diferença	d1 (cm)	w (cm)	e	Fa (N) experimental	Mr experimental (N.cm)	Mr calculado Zhang (N.cm)	Diferença
g	grandis	cascamite	0,9	3,2	1860	10184	9729	4%	3,2	5	0,02	1778	9729	5819	-67%
h			0,9	3,2	2349	12863	10532	18%	3,2	5	0,02	2420	10532	7920	-33%
m			0,9	3,2	2826	15473	13177	15%	3,2	5	0,02	3016	13177	9872	-33%
i			1,2	2,6	2480	11905	10822	9%	2,6	5	0,02	2341	10822	6960	-55%
j			1,2	2,6	3132	15036	14187	6%	2,6	5	0,02	3117	14187	9268	-53%
n			1,2	2,6	3768	18088	16716	8%	2,6	5	0,02	3585	16716	10659	-57%
k			1,5	2,0	3100	12788	14124	-10%	2	5	0,02	3288	14124	8789	-61%
l			1,5	2,0	3916	16152	16701	-3%	2	5	0,02	3727	16701	9963	-68%
o			1,5	2,0	4710	19430	18720	4%	2	5	0,02	4738	18720	12664	-48%

TABELA C.6 (continuação)

	madeira	adesivo	d2 (cm)	d1 (cm)	Fa calculada (N)	Mr calculado Eckelman (N.cm)	Mr experimental (N.cm)	Diferença	d1 (cm)	w (cm)	e	Fa (N) experimental	Mr experimental (N.cm)	Mr calculado Zhang (N.cm)	Diferença
g	cloeziana	PVA	0,9	3,2	1557	8525	8826	-4%	3,2	5	0,02	2176	7251	7124	-2%
h			0,9	3,2	1967	10768	9714	10%	3,2	5	0,02	2605	10873	8526	-28%
m			0,9	3,2	2366	12953	12606	3%	3,2	5	0,02	3208	12242	10501	-17%
i			1,2	2,6	2076	9966	9013	10%	2,6	5	0,02	2686	9715	7986	-22%
j			1,2	2,6	2622	12587	12407	1%	2,6	5	0,02	3382	12113	10055	-20%
n			1,2	2,6	3155	15142	14050	7%	2,6	5	0,02	4197	15085	12478	-21%
k			1,5	2,0	2595	10706	12221	-14%	2	5	0,02	3466	12453	9265	-34%
l			1,5	2,0	3278	13521	14105	-4%	2	5	0,02	4244	15238	11345	-34%
o			1,5	2,0	3943	16266	15745	3%	2	5	0,02	4905	16809	13112	-28%

amostra	madeira	adesivo	d2 (cm)	d1 (cm)	Fa calculada (N)	Mr calculado Eckelman (N.cm)	Mr experimental (N.cm)	Diferença	d1 (cm)	w (cm)	e	Fa (N) experimental	Mr experimental (N.cm)	Mr calculado Zhang (N.cm)	Diferença
g	cloeziana	cascamite	0,9	3,2	2180	8754	7251	17%	3,2	5	0,02	1395	8826	4566	-93%
h			0,9	3,2	2754	11057	10873	2%	3,2	5	0,02	1899	9714	6216	-56%
m			0,9	3,2	3313	13301	12242	8%	3,2	5	0,02	2480	12606	8119	-55%
i			1,2	2,6	2907	10233	9715	5%	2,6	5	0,02	1978	9013	5881	-53%
j			1,2	2,6	3672	12925	12113	6%	2,6	5	0,02	2397	12407	7127	-74%
n			1,2	2,6	4417	15548	15085	3%	2,6	5	0,02	2770	14050	8236	-71%
k			1,5	2,0	3634	10993	12453	-13%	2	5	0,02	2465	12221	6589	-85%
l			1,5	2,0	4590	13884	15238	-10%	2	5	0,02	2923	14105	7814	-81%
o			1,5	2,0	5521	16702	16809	-1%	2	5	0,02	3871	15745	10347	-52%

TABELA C.7  
Estudo comparativo entre o momento (M) experimental e o calculado com a equação (7) Hill e Eckelman (1973b)

amostra	CP	d travessa	w altura pino	$0,24*d+0,57*w$	comp. embut. (cm)	adesivo	madeira	carga ruptura (N)	M experimental (N.cm)	S	A	B	C	D	M calculado (in.lbs)	M calculado (N.cm)	diferença	
a	1	5	2,5	2,625	1,75	pva	grandis	342	10275	10	1,05	0,74	1,32	0,89	927	10464	-2%	
	2							341	10223							927	10464	-2%
	3							329	9873							927	10464	-6%
	4							352	10548							927	10464	1%
	5							347	10419							927	10464	0%
	6							359	10759							927	10464	3%
<b>média a</b>								<b>345</b>	<b>10350</b>						<b>927</b>	<b>10464</b>	<b>-1%</b>	
b	1	5	3,25	3,0525	1,75	pva	grandis	387	11604	10	1,1925	0,74	1,32	0,89	1053	11884	-2%	
	2							389	11676							1053	11884	-2%
	3							380	11388							1053	11884	-4%
	4							381	11439							1053	11884	-4%
	5							402	12047							1053	11884	1%
	6							392	11759							1053	11884	-1%
<b>média b</b>								<b>388</b>	<b>11652</b>						<b>1053</b>	<b>11884</b>	<b>-2%</b>	
c	1	5	3,25	3,0525	2,5	pva	grandis	524	15716	10	1,1925	0,95	1,32	0,89	1351	15257	3%	
	2							526	15768							1351	15257	3%
	3							524	15727							1351	15257	3%
	4							489	14665							1351	15257	-4%
	5							487	14614							1351	15257	-4%
	6							510	15300							1351	15257	0%
<b>média c</b>								<b>510</b>	<b>15298</b>						<b>1351</b>	<b>15257</b>	<b>0%</b>	
d	1	5	3,25	3,0525	3,25	pva	grandis	631	18933	10	1,1925	1,12	1,32	0,89	1593	17987	5%	
	2							648	19427							1593	17987	7%
	3							653	19601							1593	17987	8%
	4							608	18251							1593	17987	1%
	5							659	19767							1593	17987	9%
	6							566	16973							1593	17987	-6%
<b>média d</b>								<b>628</b>	<b>18826</b>						<b>1593</b>	<b>17987</b>	<b>4%</b>	

TABELA C.7 (continuação)

amostra	CP	d travessa	w altura pino	$0,24*d+0,57*w$	comp. embut. (cm)	adesivo	madeira	carga ruptura (N)	M experimental (N.cm)	S	A	B	C	D	M calculado (in.lbs)	M calculado (N.cm)	diferença	
e	1	5	4,25	3,6225	1,75	pva	grandis	457	13708	10	1,335	0,74	1,32	0,89	1178	13305	3%	
	2							415	12449							1178	13305	-7%
	3							451	13532							1178	13305	2%
	4							435	13038							1178	13305	-2%
	5							434	13006							1178	13305	-2%
	6							446	13380							1178	13305	1%
<b>média e</b>								<b>440</b>	<b>13185</b>						<b>1178</b>	<b>13305</b>	<b>-1%</b>	
f	1	5	5	4,05	1,75	pva	grandis	451	13536	10	1,406	0,74	1,32	0,89	1241	14012	-4%	
	2							479	14377							1241	14012	3%
	3							492	14747							1241	14012	5%
	4							490	14686							1241	14012	5%
	5							510	15304							1241	14012	8%
	6							481	14423							1241	14012	3%
<b>média f</b>								<b>484</b>	<b>14512</b>						<b>1241</b>	<b>14012</b>	<b>3%</b>	
a	1	5	2,5	2,625	1,75	cas	grandis	308	9254	10	1,05	0,74	1,24	0,89	871	9830	-6%	
	2							351	10532							871	9830	7%
	3							333	9986							871	9830	2%
	4							346	10378							871	9830	5%
	5							336	10076							871	9830	2%
	6							310	9286							871	9830	-6%
<b>média a</b>								<b>331</b>	<b>9919</b>						<b>871</b>	<b>9830</b>	<b>1%</b>	
b	1	5	3,25	3,0525	1,75	cas	grandis	361	10842	10	1,1925	0,74	1,24	0,89	989	11164	-3%	
	2							362	10852							989	11164	-3%
	3							366	10986							989	11164	-2%
	4							378	11326							989	11164	1%
	5							361	10831							989	11164	-3%
	6							361	10821							989	11164	-3%
<b>média b</b>								<b>365</b>	<b>10943</b>						<b>989</b>	<b>11164</b>	<b>-2%</b>	

TABELA C.7 (continuação)

amostra	CP	d travessa	w altura pino	$0,24*d+0,57*w$	comp. embut. (cm)	adesivo	madeira	carga ruptura (N)	M experimental (N.cm)	S	A	B	C	D	M calculado (in.lbs)	M calculado (N.cm)	diferença	
c	1	5	3,25	3,0525	2,5	cas	grandis	488	14634	10	1,1925	0,95	1,24	0,89	1269	14332	2%	
	2							476	14294							1269	14332	0%
	3							500	14995							1269	14332	4%
	4							499	14974							1269	14332	4%
	5							506	15191							1269	14332	6%
	6							522	15665							1269	14332	9%
<b>média c</b>								<b>499</b>	<b>14959</b>						<b>1269</b>	<b>14332</b>	<b>4%</b>	
d	1	5	3,25	3,0525	3,25	cas	grandis	581	17425	10	1,1925	1,12	1,24	0,89	1497	16897	3%	
	2							552	16551							1497	16897	-2%
	3							543	16292							1497	16897	-4%
	4							606	18169							1497	16897	7%
	5							626	18777							1497	16897	10%
	6							600	18014							1497	16897	6%
<b>média d</b>								<b>585</b>	<b>17538</b>						<b>1497</b>	<b>16897</b>	<b>4%</b>	
e	1	5	4,25	3,6225	1,75	cas	grandis	456	13686	10	1,335	0,74	1,24	0,89	1107	12498	9%	
	2							431	12934							1107	12498	3%
	3							437	13099							1107	12498	5%
	4							386	11594							1107	12498	-8%
	5							437	13099							1107	12498	5%
	6							428	12841							1107	12498	3%
<b>média e</b>								<b>429</b>	<b>12875</b>						<b>1107</b>	<b>12498</b>	<b>3%</b>	
f	1	5	5	4,05	1,75	cas	grandis	469	14057	10	1,406	0,74	1,24	0,89	1166	13163	6%	
	2							476	14273							1166	13163	8%
	3							482	14459							1166	13163	9%
	4							420	12614							1166	13163	-4%
	5							462	13860							1166	13163	5%
	6							434	13006							1166	13163	-1%
<b>média f</b>								<b>457</b>	<b>13712</b>						<b>1166</b>	<b>13163</b>	<b>4%</b>	

TABELA C.7 (continuação)

amostra	CP	d travessa	w altura pino	$0,24*d+0,57*w$	comp. embut. (cm)	adesivo	madeira	carga ruptura (N)	M experimental (N.cm)	S	A	B	C	D	M calculado (in.lbs)	M calculado (N.cm)	diferença	
a	1	5	2,5	2,625	1,75	pva	cloeziana	400	11987	12,9	1,05	0,74	1,32	0,89	1196	13499	-13%	
	2							469	14057							1196	13499	4%
	3							476	14273							1196	13499	5%
	4							443	13295							1196	13499	-2%
	6							442	13260							1196	13499	-2%
<b>média a</b>								<b>446</b>	<b>13374</b>						<b>1196</b>	<b>13499</b>	<b>-1%</b>	
b	1	5	3,25	3,0525	1,75	pva	cloeziana	509	14057	12,9	1,1925	0,74	1,32	0,89	1358	15331	-9%	
	2							511	14273							1358	15331	-7%
	3							512	15366							1358	15331	0%
	4							501	15036							1358	15331	-2%
	6							534	16006							1358	15331	4%
<b>média b</b>								<b>513</b>	<b>15400</b>						<b>1358</b>	<b>15331</b>	<b>0%</b>	
c	1	5	3,25	3,0525	2,5	pva	cloeziana	598	17943	12,9	1,1925	0,95	1,32	0,89	1743	19682	-10%	
	2							649	19481							1743	19682	-1%
	3							686	20582							1743	19682	4%
	4							598	17953							1743	19682	-10%
	5							659	19778							1743	19682	0%
	6							638	19140							1743	19682	-3%
<b>média c</b>								<b>638</b>	<b>19146</b>						<b>1743</b>	<b>19682</b>	<b>-3%</b>	
d	1	5	3,25	3,0525	3,25	pva	cloeziana	824	24729	12,9	1,1925	1,12	1,32	0,89	2055	23204	6%	
	3							849	25456							2055	23204	9%
	4							822	24672							2055	23204	6%
	5							820	24600							2055	23204	6%
	6							781	23435							2055	23204	1%
	<b>média d</b>										<b>819</b>	<b>24578</b>						<b>2055</b>
e	1	5	4,25	3,6225	1,75	pva	cloeziana	580	17400	12,9	1,335	0,74	1,32	0,89	1520	17163	1%	
	2							549	16470							1520	17163	-4%
	3							535	16056							1520	17163	-7%
	4							556	16685							1520	17163	-3%
	5							550	16489							1520	17163	-4%
	6							555	16644							1520	17163	-3%
<b>média e</b>								<b>554</b>	<b>16624</b>						<b>1520</b>	<b>17163</b>	<b>-3%</b>	

TABELA C.7 (continuação)

amostra	CP	d travessa	w altura pino	$0,24*d+0,57*w$	comp. embut. (cm)	adesivo	madeira	carga ruptura (N)	M experimental (N.cm)	S	A	B	C	D	M calculado (in.lbs)	M calculado (N.cm)	diferença	
f	1	5	5	4,05	1,75	pva	cloeziana	585	17540	12,9	1,406	0,74	1,32	0,89	1601	18076	-3%	
	2							634	19025							1601	18076	5%
	3							659	19778							1601	18076	9%
	4							637	19108							1601	18076	5%
	5							631	18933							1601	18076	5%
	6							649	19470							1601	18076	7%
<b>média f</b>								<b>633</b>	<b>18976</b>						<b>1601</b>	<b>18076</b>	<b>5%</b>	

amostra	CP	d travessa	w altura pino	$0,24*d+0,57*w$	comp. embut. (cm)	adesivo	madeira	carga ruptura (N)	M experimental (N.cm)	S	A	B	C	D	M calculado (in.lbs)	M calculado (N.cm)	diferença			
a	1	5	2,5	2,625	1,75	cas	cloeziana	407	12212	12,9	1,05	0,74	1,24	0,89	1123	12681	-4%			
	2							405	12151							1123	12681	-4%		
	3							398	11955							1123	12681	-6%		
	4							397	11915							1123	12681	-6%		
	5							398	11934							1123	12681	-6%		
	6							428	12833							1123	12681	1%		
<b>média a</b>								<b>406</b>	<b>12167</b>						<b>1123</b>	<b>12681</b>	<b>-4%</b>			
b	1	5	3,25	3,0525	1,75	cas	cloeziana	461	13842	12,9	1,1925	0,74	1,24	0,89	1276	14402	-4%			
	2							443	13284							1276	14402	-8%		
	4							480	14400							1276	14402	0%		
	5							460	13790							1276	14402	-4%		
	6							505	15139							1276	14402	5%		
	<b>média b</b>										<b>470</b>	<b>14091</b>						<b>1276</b>	<b>14402</b>	<b>-2%</b>
c	3	5	3,25	3,0525	2,5	cas	cloeziana	621	18633	12,9	1,1925	0,95	1,24	0,89	1638	18489	1%			
	4							649	19457							1638	18489	5%		
	5							620	18600							1638	18489	1%		
	6							621	18630							1638	18489	1%		
	<b>média c</b>										<b>628</b>	<b>18830</b>						<b>1638</b>	<b>18489</b>	<b>2%</b>
	d	1	5	3,25	3,0525			3,25	cas	cloeziana	720	21600	12,9	1,1925	1,12	1,24	0,89	1931	21797	-1%
2						672	20148									1931	21797	-8%		
4						680	20405									1931	21797	-7%		
5						669	20076									1931	21797	-9%		
6						692	20756									1931	21797	-5%		
<b>média d</b>											<b>687</b>	<b>20597</b>						<b>1931</b>	<b>21797</b>	<b>-6%</b>

TABELA C.7 (continuação)

amostra	CP	d travessa	w altura pino	$0,24*d+0,57*w$	comp. embut. (cm)	adesivo	madeira	carga ruptura (N)	M experimental (N.cm)	S	A	B	C	D	M calculado (in.lbs)	M calculado (N.cm)	diferença	
e	1	5	4,25	3,6225	1,75	cas	cloeziana	561	16829	12,9	1,335	0,74	1,24	0,89	1428	16123	4%	
	2							504	15119							1428	16123	-7%
	3							530	15902							1428	16123	-1%
	4							507	15201							1428	16123	-6%
	5							514	15428							1428	16123	-5%
	6							530	15900							1428	16123	-1%
<b>média e</b>								<b>524</b>	<b>15730</b>						<b>1428</b>	<b>16123</b>	<b>-2%</b>	
f	1	5	5	4,05	1,75	cas	cloeziana	534	16025	12,9	1,406	0,74	1,24	0,89	1504	16980	-6%	
	2							540	16211							1504	16980	-5%
	3							551	16516							1504	16980	-3%
	4							532	15964							1504	16980	-6%
	5							543	16290							1504	16980	-4%
	6							570	17100							1504	16980	1%
<b>média f</b>								<b>545</b>	<b>16351</b>						<b>1504</b>	<b>16980</b>	<b>-4%</b>	

TABELA C.8

Estudo comparativo entre momento experimental e calculado com a equação (8) Erdil, Kasal e Eckelman (2005)

amostra	CP	d travessa	w altura pino	comp. embut. (cm)	adesivo	madeira	carga ruptura (N)	M experimental (N.cm)	S	A	B	M calculado (in.lbs)	M calculado (N.cm)	diferença	
a	1	5	2,5	1,75	pva	grandis	342	10275	10	1	2,575	906	10227	0%	
	2						341	10223					906	10227	0%
	3						329	9873					906	10227	-4%
	4						352	10548					906	10227	3%
	5						347	10419					906	10227	2%
	6							359	10759					906	10227
<b>média a</b>							<b>345</b>	<b>10350</b>				<b>906</b>	<b>10227</b>	<b>1%</b>	
b	1	5	3,25	1,75	pva	grandis	387	11604	10	1	2,9725	1046	11806	-2%	
	2						389	11676					1046	11806	-1%
	3						380	11388					1046	11806	-4%
	4						381	11439					1046	11806	-3%
	5						402	12047					1046	11806	2%
	6							392	11759					1046	11806
<b>média b</b>							<b>388</b>	<b>11652</b>				<b>1046</b>	<b>11806</b>	<b>-1%</b>	
c	1	5	3,25	2,5	pva	grandis	524	15716	10	1	2,9725	1391	15705	0%	
	2						526	15768					1391	15705	0%
	3						524	15727					1391	15705	0%
	4						489	14665					1391	15705	-7%
	5						487	14614					1391	15705	-7%
	6							510	15300					1391	15705
<b>média c</b>							<b>510</b>	<b>15298</b>				<b>1391</b>	<b>15705</b>	<b>-3%</b>	
d	1	5	3,25	3,25	pva	grandis	631	18933	10	1	2,9725	1716	19373	-2%	
	2						648	19427					1716	19373	0%
	3						653	19601					1716	19373	1%
	4						608	18251					1716	19373	-6%
	5						659	19767					1716	19373	2%
	6							566	16973					1716	19373
<b>média d</b>							<b>628</b>	<b>18826</b>				<b>1716</b>	<b>19373</b>	<b>-3%</b>	
e	1	5	4,25	1,75	pva	grandis	457	13708	10	1	3,5025	1232	13911	-1%	
	2						415	12449					1232	13911	-12%
	3						451	13532					1232	13911	-3%
	4						435	13038					1232	13911	-7%
	5						434	13006					1232	13911	-7%
	6							446	13380					1232	13911
<b>média e</b>							<b>440</b>	<b>13185</b>				<b>1232</b>	<b>13911</b>	<b>-6%</b>	

TABELA C.8 (continuação)

amostra	CP	d travessa	w altura pino	comp. embut. (cm)	adesivo	madeira	carga ruptura (N)	M experimental (N.cm)	S	A	B	M calculado (in.lbs)	M calculado (N.cm)	diferença	
f	1	5	5	1,75	pva	grandis	451	13536	10	1	3,9	1372	15490	-14%	
	2						479	14377					1372	15490	-8%
	3						492	14747					1372	15490	-5%
	4						490	14686					1372	15490	-5%
	5						510	15304					1372	15490	-1%
	6							481	14423					1372	15490
<b>média f</b>							<b>484</b>	<b>14512</b>				<b>1372</b>	<b>15490</b>	<b>-7%</b>	
a	1	5	2,5	1,75	cas	grandis	308	9254	10	0,83	2,575	752	8489	8%	
	2						351	10532					752	8489	19%
	3						333	9986					752	8489	15%
	4						346	10378					752	8489	18%
	5						336	10076					752	8489	16%
	6							310	9286					752	8489
<b>média a</b>							<b>331</b>	<b>9919</b>				<b>752</b>	<b>8489</b>	<b>14%</b>	
b	1	5	3,25	1,75	cas	grandis	361	10842	10	0,83	2,9725	868	9799	10%	
	2						362	10852					868	9799	10%
	3						366	10986					868	9799	11%
	4						378	11326					868	9799	13%
	5						361	10831					868	9799	10%
	6							361	10821					868	9799
<b>média b</b>							<b>365</b>	<b>10943</b>				<b>868</b>	<b>9799</b>	<b>10%</b>	
c	1	5	3,25	2,5	cas	grandis	488	14634	10	0,83	2,9725	1154	13035	11%	
	2						476	14294					1154	13035	9%
	3						500	14995					1154	13035	13%
	4						499	14974					1154	13035	13%
	5						506	15191					1154	13035	14%
	6							522	15665					1154	13035
<b>média c</b>							<b>499</b>	<b>14959</b>				<b>1154</b>	<b>13035</b>	<b>13%</b>	

TABELA C.8 (continuação)

amostra	CP	d travessa	w altura pino	comp. embut. (cm)	adesivo	madeira	carga ruptura (N)	M experimental (N.cm)	S	A	B	M calculado (in.lbs)	M calculado (N.cm)	diferença
d	1	5	3,25	3,25	cas	grandis	581	17425	10	0,83	2,9725	1424	16079	8%
	2			552			16551	1424				16079	3%	
	3			543			16292	1424				16079	1%	
	4			606			18169	1424				16079	12%	
	5			626			18777	1424				16079	14%	
	6			600			18014	1424				16079	11%	
<b>média d</b>							<b>585</b>	<b>17538</b>				<b>1424</b>	<b>16079</b>	<b>8%</b>
e	1	5	4,25	1,75	cas	grandis	456	13686	10	0,83	3,5025	1023	11546	16%
	2			431			12934	1023				11546	11%	
	3			437			13099	1023				11546	12%	
	4			386			11594	1023				11546	0%	
	5			437			13099	1023				11546	12%	
	6			428			12841	1023				11546	10%	
<b>média e</b>							<b>429</b>	<b>12875</b>				<b>1023</b>	<b>11546</b>	<b>10%</b>
f	1	5	5	1,75	cas	grandis	469	14057	10	0,83	3,9	1139	12857	9%
	2			476			14273	1139				12857	10%	
	3			482			14459	1139				12857	11%	
	4			420			12614	1139				12857	-2%	
	5			462			13860	1139				12857	7%	
	6			434			13006	1139				12857	1%	
<b>média f</b>							<b>457</b>	<b>13712</b>				<b>1139</b>	<b>12857</b>	<b>6%</b>
amostra	CP	d travessa	w altura pino	comp. embut. (cm)	adesivo	madeira	carga ruptura (N)	M experimental (N.cm)	S	A	B	M calculado (in.lbs)	M calculado (N.cm)	diferença
a	1	5	2,5	1,75	pva	cloeziana	400	11987	12,9	1	2,575	1169	13193	-10%
	2			469			14057	1169				13193	6%	
	3			476			14273	1169				13193	8%	
	4			443			13295	1169				13193	1%	
	5			442			13260	1169				13193	1%	
	6													
<b>média a</b>							<b>446</b>	<b>13374</b>				<b>1169</b>	<b>13193</b>	<b>1%</b>
b	1	5	3,25	1,75	pva	cloeziana	509	14057	12,9	1	2,9725	1349	15230	-8%
	2			511			14273	1349				15230	-7%	
	3			512			15366	1349				15230	1%	
	4			501			15036	1349				15230	-1%	
	5			534			16006	1349				15230	5%	
	6													
<b>média b</b>							<b>513</b>	<b>15400</b>				<b>1349</b>	<b>15230</b>	<b>1%</b>

TABELA C.8 (continuação)

amostra	CP	d travessa	w altura pino	comp. embut. (cm)	adesivo	madeira	carga ruptura (N)	M experimental (N.cm)	S	A	B	M calculado (in.lbs)	M calculado (N.cm)	diferença	
c	1	5	3,25	2,5	pva	cloeziana	598	17943	12,9	1	2,9725	1794	20259	-13%	
	2						649	19481					1794	20259	-4%
	3						686	20582					1794	20259	2%
	4						598	17953					1794	20259	-13%
	5						659	19778					1794	20259	-2%
	6						638	19140					1794	20259	-6%
<b>média c</b>							<b>638</b>	<b>19146</b>				<b>1794</b>	<b>20259</b>	<b>-6%</b>	
d	1	5	3,25	3,25	pva	cloeziana	824	24729	12,9	1	2,9725	2213	24991	-1%	
	3						849	25456					2213	24991	2%
	4						822	24672					2213	24991	-1%
	5						820	24600					2213	24991	-2%
	6						781	23435					2213	24991	-7%
	<b>média d</b>									<b>819</b>	<b>24578</b>				<b>2213</b>
e	1	5	4,25	1,75	pva	cloeziana	580	17400	12,9	1	3,5025	1589	17946	-3%	
	2						549	16470					1589	17946	-9%
	3						535	16056					1589	17946	-12%
	4						556	16685					1589	17946	-8%
	5						550	16489					1589	17946	-9%
	6						555	16644					1589	17946	-8%
<b>média e</b>							<b>554</b>	<b>16624</b>				<b>1589</b>	<b>17946</b>	<b>-8%</b>	
f	1	5	5	1,75	pva	cloeziana	585	17540	12,9	1	3,9	1770	19982	-14%	
	2						634	19025					1770	19982	-5%
	3						659	19778					1770	19982	-1%
	4						637	19108					1770	19982	-5%
	5						631	18933					1770	19982	-6%
	6						649	19470					1770	19982	-3%
<b>média f</b>							<b>633</b>	<b>18976</b>				<b>1770</b>	<b>19982</b>	<b>-5%</b>	
amostra	CP	d travessa	w altura pino	comp. embut. (cm)	adesivo	madeira	carga ruptura (N)	M experimental (N.cm)	S	A	B	M calculado (in.lbs)	M calculado (N.cm)	diferença	
a	1	5	2,5	1,75	cas	cloeziana	407	12212	12,9	0,83	2,575	970	10951	10%	
	2						405	12151					970	10951	10%
	3						398	11955					970	10951	8%
	4						397	11915					970	10951	8%
	5						398	11934					970	10951	8%
	6						428	12833					970	10951	15%
<b>média a</b>							<b>406</b>	<b>12167</b>				<b>970</b>	<b>10951</b>	<b>10%</b>	

TABELA C.8 (continuação)

amostra	CP	d travessa	w altura pino	comp. embut. (cm)	adesivo	madeira	carga ruptura (N)	M experimental (N.cm)	S	A	B	M calculado (in.lbs)	M calculado (N.cm)	diferença
b	1	5	3,25	1,75	cas	cloeziana	461	13842	12,9	0,83	2,9725	1120	12641	9%
	2						443	13284				1120	12641	5%
	4						480	14400				1120	12641	12%
	5						460	13790				1120	12641	8%
	6						505	15139				1120	12641	17%
	<b>média b</b>											<b>470</b>	<b>14091</b>	
c	3	5	3,25	2,5	cas	cloeziana	621	18633	12,9	0,83	2,9725	1489	16815	10%
	4						649	19457				1489	16815	14%
	5						620	18600				1489	16815	10%
	6						621	18630				1489	16815	10%
	<b>média c</b>											<b>628</b>	<b>18830</b>	
d	1	5	3,25	3,25	cas	cloeziana	720	21600	12,9	0,83	2,9725	1837	20742	4%
	2						672	20148				1837	20742	-3%
	4						680	20405				1837	20742	-2%
	5						669	20076				1837	20742	-3%
	6						692	20756				1837	20742	0%
	<b>média d</b>											<b>687</b>	<b>20597</b>	
e	1	5	4,25	1,75	cas	cloeziana	561	16829	12,9	0,83	3,5025	1319	14895	11%
	2						504	15119				1319	14895	1%
	3						530	15902				1319	14895	6%
	4						507	15201				1319	14895	2%
	5						514	15428				1319	14895	3%
	6						530	15900				1319	14895	6%
	<b>média e</b>											<b>524</b>	<b>15730</b>	
f	1	5	5	1,75	cas	cloeziana	534	16025	12,9	0,83	3,9	1469	16585	-3%
	2						540	16211				1469	16585	-2%
	3						551	16516				1469	16585	0%
	4						532	15964				1469	16585	-4%
	5						543	16290				1469	16585	-2%
	6						570	17100				1469	16585	3%
<b>média f</b>						<b>545</b>	<b>16351</b>				<b>1469</b>	<b>16585</b>	<b>-1%</b>	

TABELA C.9  
Estudo comparativo entre MR experimental e calculado e entre Mlp experimental e calculado

amostra	CP	altura pino	comp. embut. (cm)	adesivo	madeira	MR experimental	MR calculado	diferença	Mlp experimental	Mlp calculado	diferença
a	1	2,5	1,75	pva	grandis	10275	10439	2%	4740	4816	2%
	2					10223	10376	1%	4620	4992	7%
	3					9873	10371	5%	4920	5008	2%
	4					10548	10376	-2%	5130	4993	-3%
	5					10419	10428	0%	4860	4846	0%
	6					10759	10421	-3%	4890	4864	-1%
<b>média a</b>					<b>10350</b>	<b>10402</b>	<b>1%</b>	<b>4860</b>	<b>4920</b>	<b>1%</b>	
b	1	3,25	1,75	pva	grandis	11604	11870	2%	5340	5654	6%
	2					11676	11859	2%	5340	5684	6%
	3					11388	11933	5%	5370	5476	2%
	4					11439	11886	4%	5490	5609	2%
	5					12047	11832	-2%	5580	5762	3%
	6					11759	11860	1%	5580	5682	2%
<b>média b</b>					<b>11652</b>	<b>11873</b>	<b>2%</b>	<b>5450</b>	<b>5645</b>	<b>3%</b>	
c	1	3,25	2,5	pva	grandis	15716	15484	-1%	5850	6826	14%
	2					15768	15611	-1%	5880	6501	10%
	3					15727	15560	-1%	5910	6629	11%
	4					14665	15518	5%	6150	6739	9%
	5					14614	15498	6%	6450	6789	5%
	6					15300	15532	1%	6450	6701	4%
<b>média c</b>					<b>15298</b>	<b>15534</b>	<b>2%</b>	<b>6115</b>	<b>6698</b>	<b>9%</b>	
d	1	3,25	3,25	pva	grandis	18933	18836	-1%	7950	7821	-2%
	2					19427	18929	-3%	7950	7593	-5%
	3					19601	18849	-4%	7950	7788	-2%
	4					18251	18926	4%	7950	7601	-5%
	5					19767	18827	-5%	7950	7845	-1%
	6					16973	18839	10%	7950	7815	-2%
<b>média d</b>					<b>18826</b>	<b>18868</b>	<b>0%</b>	<b>7950</b>	<b>7744</b>	<b>-3%</b>	
e	1	4,25	1,75	pva	grandis	13708	13589	-1%	5610	6510	14%
	2					12449	13556	8%	5640	6603	15%
	3					13532	13553	0%	5880	6613	11%
	4					13038	13612	4%	6720	6444	-4%
	5					13006	13583	4%	6720	6526	-3%
	6					13380	13561	1%	6720	6588	-2%
<b>média e</b>					<b>13185</b>	<b>13576</b>	<b>3%</b>	<b>6215</b>	<b>6547</b>	<b>5%</b>	

TABELA C.9 (continuação)

amostra	CP	altura pino	comp. embut. (cm)	adesivo	madeira	MR experimental	MR calculado	diferença	Mlp experimental	Mlp calculado	diferença
f	1	5	1,75	pva	grandis	13536	14742	8%	7920	7110	-11%
	2					14377	14675	2%	7920	7306	-8%
	3					14747	14776	0%	7920	7010	-13%
	4					14686	14753	0%	7920	7077	-12%
	5					15304	14741	-4%	7920	7113	-11%
	6					14423	14777	2%	7920	7008	-13%
<b>média f</b>					<b>14512</b>	<b>14744</b>	<b>2%</b>	<b>7920</b>	<b>7104</b>	<b>-11%</b>	

amostra	CP	altura pino	comp. embut. (cm)	adesivo	madeira	MR experimental	MR calculado	diferença	Mlp experimental	Mlp calculado	diferença
a	1	2,5	1,75	cas	grandis	9254	9773	5%	5280	6069	13%
	2					10532	9771	-8%	5520	6077	9%
	3					9986	9743	-3%	5580	6183	10%
	4					10378	9819	-6%	5760	5898	2%
	5					10076	9742	-3%	6090	6187	2%
	6					9286	9746	5%	6090	6168	1%
<b>média a</b>					<b>9919</b>	<b>9766</b>	<b>-2%</b>	<b>5720</b>	<b>6097</b>	<b>6%</b>	
b	1	3,25	1,75	cas	grandis	10842	11136	3%	6300	7036	10%
	2					10852	11150	3%	6450	6982	8%
	3					10986	11124	1%	6870	7083	3%
	4					11326	11132	-2%	7290	7053	-3%
	5					10831	11106	2%	7620	7153	-7%
	6					10821	11107	3%	7680	7149	-7%
<b>média b</b>					<b>10943</b>	<b>11126</b>	<b>2%</b>	<b>7035</b>	<b>7076</b>	<b>1%</b>	
c	1	3,25	2,5	cas	grandis	14634	14517	-1%	7920	8532	7%
	2					14294	14557	2%	7950	8393	5%
	3					14995	14591	-3%	7980	8275	4%
	4					14974	14525	-3%	8040	8504	5%
	5					15191	14594	-4%	8040	8265	3%
	6					15665	14545	-8%	8070	8434	4%
<b>média c</b>					<b>14959</b>	<b>14555</b>	<b>-3%</b>	<b>8000</b>	<b>8400</b>	<b>5%</b>	
d	1	3,25	3,25	cas	grandis	17425	17696	2%	10140	9653	-5%
	2					16551	17661	6%	10410	9769	-7%
	3					16292	17687	8%	10560	9684	-9%
	4					18169	17783	-2%	10590	9375	-13%
	5					18777	17756	-6%	10590	9459	-12%
	6					18014	17687	-2%	10650	9684	-10%
<b>média d</b>					<b>17538</b>	<b>17712</b>	<b>1%</b>	<b>10490</b>	<b>9604</b>	<b>-9%</b>	

TABELA C.9 (continuação)

amostra	CP	altura pino	comp. embut. (cm)	adesivo	madeira	MR experimental	MR calculado	diferença	Mlp experimental	Mlp calculado	diferença
e	1	4,25	1,75	cas	grandis	13686	12776	-7%	7830	7997	2%
	2					12934	12742	-2%	7830	8126	4%
	3					13099	12724	-3%	7860	8196	4%
	4					11594	12778	9%	7890	7991	1%
	5					13099	12708	-3%	7950	8256	4%
	6					12841	12669	-1%	7950	8412	5%
<b>média e</b>					<b>12875</b>	<b>12733</b>	<b>-1%</b>	<b>7885</b>	<b>8163</b>	<b>3%</b>	
f	1	5	1,75	cas	grandis	14057	13835	-2%	8220	8832	7%
	2					14273	13803	-3%	8250	8954	8%
	3					14459	13744	-5%	8250	9186	10%
	4					12614	13829	9%	8760	8854	1%
	5					13860	13793	0%	8820	8993	2%
	6					13006	13779	6%	8850	9049	2%
<b>média f</b>					<b>13712</b>	<b>13797</b>	<b>1%</b>	<b>8525</b>	<b>8978</b>	<b>5%</b>	

amostra	CP	altura pino	comp. embut. (cm)	adesivo	madeira	MR experimental	MR calculado	diferença	Mlp experimental	Mlp calculado	diferença
a	1	2,5	1,75	pva	cloeziana	11987	13134	9%	5100	5688	10%
	2					14057	13167	-7%	5040	5775	13%
	3					14273	13045	-9%	5340	5461	2%
	4					13295	13134	-1%	5400	5688	5%
	5					12614	13146	4%	5400	5719	6%
	6					13260	13146	-1%	5580	5719	2%
<b>média a</b>					<b>13248</b>	<b>13128</b>	<b>-1%</b>	<b>5310</b>	<b>5675</b>	<b>6%</b>	
b	1	3,25	1,75	pva	cloeziana	15270	15013	-2%	5670	6672	15%
	2					15325	14962	-2%	5760	6537	12%
	3					15366	14913	-3%	5850	6409	9%
	4					15036	14913	-1%	5940	6409	7%
	5					14594	14913	2%	5940	6409	7%
	6					16006	14913	-7%	6060	6409	5%
<b>média b</b>					<b>15266</b>	<b>14938</b>	<b>-2%</b>	<b>5870</b>	<b>6475</b>	<b>9%</b>	
c	1	3,25	2,5	pva	cloeziana	17943	19550	8%	6810	7811	13%
	2					19481	19485	0%	7050	7656	8%
	3					20582	19362	-6%	7080	7371	4%
	4					17953	19362	7%	7830	7371	-6%
	5					19778	19362	-2%	7860	7371	-7%
	6					19140	19362	1%	7950	7371	-8%
<b>média c</b>					<b>19146</b>	<b>19414</b>	<b>1%</b>	<b>7430</b>	<b>7492</b>	<b>1%</b>	

TABELA C.9 (continuação)

amostra	CP	altura pino	comp. embut. (cm)	adesivo	madeira	MR experimental	MR calculado	diferença	Mlp experimental	Mlp calculado	diferença
d	1	3,25	3,25	pva	cloeziana	24729	23925	-3%	8850	9188	4%
	2					25435	23906	-6%	10380	9145	-14%
	3					25456	23906	-6%	9900	9145	-8%
	4					24672	23957	-3%	10410	9262	-12%
	5					24600	23906	-3%	10500	9145	-15%
	6					23435	23925	2%	10470	9188	-14%
<b>média d</b>					<b>24721</b>	<b>23921</b>	<b>-3%</b>	<b>10085</b>	<b>9179</b>	<b>-10%</b>	
e	1	4,25	1,75	pva	cloeziana	17400	17201	-1%	6630	7823	15%
	2					16470	17089	4%	6660	7522	11%
	3					16056	17198	7%	7290	7814	7%
	4					16685	17198	3%	7350	7814	6%
	5					16489	17201	4%	7410	7823	5%
	6					16644	17198	3%	7710	7814	1%
<b>média e</b>					<b>16624</b>	<b>17181</b>	<b>3%</b>	<b>7175</b>	<b>7768</b>	<b>8%</b>	
f	1	5	1,75	pva	cloeziana	17540	18591	6%	7920	8373	5%
	2					19025	18591	-2%	7920	8373	5%
	3					19778	18536	-7%	7920	8225	4%
	4					19108	18591	-3%	7950	8373	5%
	5					18933	18591	-2%	8070	8373	4%
	6					19470	18591	-5%	7950	8373	5%
<b>média f</b>					<b>18976</b>	<b>18581</b>	<b>-2%</b>	<b>7955</b>	<b>8348</b>	<b>5%</b>	

amostra	CP	altura pino	comp. embut. (cm)	adesivo	madeira	MR experimental	MR calculado	diferença	Mlp experimental	Mlp calculado	diferença
a	1	2,5	1,75	cas	cloeziana	12212	12292	1%	6120	7037	13%
	2					12151	12292	1%	6300	7037	10%
	3					11955	12329	3%	6930	7165	3%
	4					11915	12332	3%	7170	7177	0%
	5					11934	12254	3%	7230	6907	-5%
	6					12833	12292	-4%	7230	7037	-3%
<b>média a</b>					<b>12167</b>	<b>12298</b>	<b>1%</b>	<b>6830</b>	<b>7060</b>	<b>3%</b>	
b	1	3,25	1,75	cas	cloeziana	13842	14022	1%	7290	8156	11%
	2					13284	13976	5%	7320	7996	8%
	3					13665	14051	3%	7320	8258	11%
	4					14400	14051	-2%	7320	8258	11%
	5					13790	14015	2%	7860	8129	3%
	6					15139	13999	-8%	7890	8075	2%
<b>média b</b>					<b>14020</b>	<b>14019</b>	<b>0%</b>	<b>7500</b>	<b>8145</b>	<b>8%</b>	

TABELA C.9 (continuação)

amostra	CP	altura pino	comp. embut. (cm)	adesivo	madeira	MR experimental	MR calculado	diferença	Mlp experimental	Mlp calculado	diferença
c	1	3,25	2,5	cas	cloeziana	17211	18409	7%	8700	10026	13%
	2					19262	18409	-5%	8700	10026	13%
	3					18633	18409	-1%	8850	10026	12%
	4					19457	18409	-6%	8850	10026	12%
	5					18600	18291	-2%	8550	9647	11%
	6					18630	18409	-1%	9060	10026	10%
<b>média c</b>					<b>18632</b>	<b>18389</b>	<b>-1%</b>	<b>8785</b>	<b>9962</b>	<b>12%</b>	
d	1	3,25	3,25	cas	cloeziana	21600	22412	4%	10350	11431	9%
	2					20148	22412	10%	10410	11431	9%
	3					20560	22412	8%	10410	11431	9%
	4					20405	22412	9%	10650	11431	7%
	5					20076	22412	10%	10680	11431	7%
	6					20756	22412	7%	11310	11431	1%
<b>média d</b>					<b>20591</b>	<b>22412</b>	<b>8%</b>	<b>10635</b>	<b>11431</b>	<b>7%</b>	
e	1	4,25	1,75	cas	cloeziana	16829	15954	-5%	7920	9170	14%
	2					15119	15954	5%	7920	9170	14%
	3					15902	15954	0%	7950	9170	13%
	4					15201	15907	4%	7950	9007	12%
	5					15428	16068	4%	8550	9571	11%
	6					15900	16068	1%	8550	9571	11%
<b>média e</b>					<b>15730</b>	<b>15984</b>	<b>2%</b>	<b>8140</b>	<b>9276</b>	<b>12%</b>	
f	1	5	1,75	cas	cloeziana	16025	17351	8%	10410	10190	-2%
	2					16211	17429	7%	10560	10466	-1%
	3					16516	17434	5%	10590	10484	-1%
	4					15964	17429	8%	10590	10466	-1%
	5					16290	17474	7%	10590	10631	0%
	6					17100	17429	2%	10770	10466	-3%
<b>média f</b>					<b>16351</b>	<b>17424</b>	<b>6%</b>	<b>10585</b>	<b>10450</b>	<b>-1%</b>	

TABELA C.10  
Estudo comparativo entre o deslocamento experimental e numérico – ligações cavilhadas

amostra	CP	espaça (cm)	diâmetro (cm)	comp. embut. (cm)	espessura material interface (mm)	E material interface (Nm2)	adesivo	madeira	deslocamento experimental (mm)	densidade aparente (kg/m3)	E1 (N/m2)	deslocamento numérico (mm)	diferença
g	1	3,2	0,6	5	0,31	8,25E+06	pva	grandis	6,49	614,13	1,2975E+10	6,3380	2%
	2								6,81	479,79	1,0787E+10	6,6050	3%
	3								6,51	479,79	1,0787E+10	6,6050	-1%
	4								6,61	479,79	1,0787E+10	6,6050	0%
	5								6,90	479,79	1,0787E+10	6,6050	4%
	6								ensaio incompleto				
<b>média g</b>									<b>6,67</b>	<b>506,66</b>		<b>6,55</b>	<b>2%</b>
h	1	3,2	0,6	6,5	0,31	8,25E+06	pva	grandis	5,11	538,26	2,1747E+10	5,021	2%
	2								5,81	532,61	1,4048E+10	5,432	7%
	3								4,32	628,76	2,2014E+10	4,942	-13%
	4								4,39	628,76	2,2014E+10	4,942	-11%
	5								5,32	532,61	1,4048E+10	5,432	-2%
	6								5,73	479,79	1,0787E+10	5,779	-1%
<b>média h</b>									<b>5,11</b>	<b>556,80</b>		<b>5,26</b>	<b>-3%</b>
m	1	3,2	0,6	8	0,31	8,25E+06	pva	grandis	3,96	628,76	2,2014E+10	4,367	-9%
	2								4,01	628,76	2,2014E+10	4,367	-8%
	3								4,42	628,76	2,2014E+10	4,367	1%
	4								4,15	628,76	2,2014E+10	4,367	-5%
	5								3,99	628,76	2,2014E+10	4,367	-9%
	6								3,87	628,76	2,2014E+10	4,367	-11%
<b>média m</b>									<b>4,07</b>	<b>628,76</b>		<b>4,37</b>	<b>-7%</b>
i	1	2,6	0,8	5	0,21	8,25E+06	pva	grandis	5,60	479,79	1,0787E+10	5,400	4%
	2								4,38	628,76	2,2014E+10	4,529	-3%
	3								4,49	628,76	2,2014E+10	4,529	-1%
	4								5,00	628,76	2,2014E+10	4,529	10%
	5								5,32	557,29	1,8059E+10	4,787	11%
	6								4,55	628,76	2,2014E+10	4,529	0%
<b>média i</b>									<b>4,89</b>	<b>592,02</b>		<b>4,72</b>	<b>4%</b>

TABELA C.10 (continuação)

amostra	CP	espaça (cm)	diâmetro (cm)	comp. embut. (cm)	espessura material interface (mm)	E material interface (Nm <sup>2</sup> )	adesivo	madeira	deslocamento experimental (mm)	densidade aparente (kg/m <sup>3</sup> )	E1 (N/m <sup>2</sup> )	deslocamento numérico (mm)	diferença
j	1	2,6	0,8	6,5	0,21	8,25E+06	pva	grandis	4,27	628,76	2,2014E+10	3,910	9%
	2								3,56	628,76	2,2014E+10	3,910	-9%
	3								4,60	479,79	1,0787E+10	4,782	-4%
	4								4,38	471,74	1,6136E+10	4,309	2%
	5								3,37	628,76	2,2014E+10	3,910	-14%
	6								4,81	479,79	1,0787E+10	4,782	1%
<b>média j</b>									<b>4,17</b>	<b>552,93</b>		<b>4,27</b>	<b>-2%</b>
n	1	2,6	0,8	8	0,21	8,25E+06	pva	grandis	3,71	556,21	1,8151E+10	3,829	-3%
	2								3,34	628,76	2,2014E+10	3,586	-7%
	3								3,18	628,76	2,2014E+10	3,586	-11%
	4								3,51	628,76	2,2014E+10	3,586	-2%
	5								3,32	628,76	2,2014E+10	3,586	-7%
	6								3,39	628,76	2,2014E+10	3,586	-5%
<b>média n</b>									<b>3,41</b>	<b>616,66</b>		<b>3,63</b>	<b>-6%</b>
k	1	2	1	5	0,21	8,25E+06	pva	grandis	5,03	435,97	1,4666E+10	5,089	-1%
	2								4,97	628,76	2,2014E+10	4,656	7%
	3								4,65	628,76	2,2014E+10	4,656	0%
	4								4,20	628,76	2,2014E+10	4,656	-10%
	5								4,92	628,76	2,2014E+10	4,656	6%
	6								4,12	628,76	2,2014E+10	4,656	-11%
<b>média k</b>									<b>4,65</b>	<b>596,62</b>		<b>4,73</b>	<b>-2%</b>
l	1	2	1	6,5	0,21	8,25E+06	pva	grandis	3,89	628,76	2,2014E+10	4,069	-4%
	2								4,03	628,76	2,2014E+10	4,069	-1%
	3								3,64	628,76	2,2014E+10	4,069	-10%
	4								3,90	628,76	2,2014E+10	4,069	-4%
	5								3,53	628,76	2,2014E+10	4,069	-13%
	6								4,02	628,76	2,2014E+10	4,069	-1%
<b>média l</b>									<b>3,84</b>	<b>628,76</b>		<b>4,07</b>	<b>-6%</b>

TABELA C.10 (continuação)

amostra	CP	espaça (cm)	diâmetro (cm)	comp. embut. (cm)	espessura material interface (mm)	E material interface (Nm <sup>2</sup> )	adesivo	madeira	deslocamento experimental (mm)	densidade aparente (kg/m <sup>3</sup> )	EI (N/m <sup>2</sup> )	deslocamento numérico (mm)	diferença
o	1	2	1	8	0,21	8,25E+06	pva	grandis	3,45	556,21	1,8151E+10	3,932	-12%
	2								3,91	556,21	1,8151E+10	3,932	-1%
	3								3,29	628,76	2,2014E+10	3,700	-11%
	4								3,25	628,76	2,2014E+10	3,700	-12%
	5								3,16	628,76	2,2014E+10	3,700	-15%
	6								2,95	628,76	2,2014E+10	3,700	-20%
<b>média o</b>									<b>3,33</b>	<b>604,57</b>		<b>3,78</b>	<b>-12%</b>
amostra	CP	espaça (cm)	diâmetro (cm)	comp. embut. (cm)	espessura material interface (mm)	E material interface (Nm <sup>2</sup> )	adesivo	madeira	deslocamento experimental (mm)	densidade aparente (kg/m <sup>3</sup> )	EI (N/m <sup>2</sup> )	deslocamento numérico (mm)	diferença
g	1	3,2	0,6	5	0,26	9,50E+06	cas	grandis	5,41	479,79	1,0787E+10	5,6120	-4%
	2								5,14	576,25	1,5603E+10	5,1250	0%
	3								6,05	479,79	1,0787E+10	5,6120	8%
	4								5,16	586,11	1,2694E+10	5,3770	-4%
	5								5,99	479,79	1,0787E+10	5,6120	7%
	6								5,25	745,42	1,5502E+10	5,1374	2%
<b>média g</b>									<b>5,50</b>	<b>557,86</b>		<b>5,41</b>	<b>2%</b>
h	1	3,2	0,6	6,5	0,26	9,50E+06	cas	grandis	5,34	479,79	1,0787E+10	4,982	7%
	2								5,24	479,79	1,0787E+10	4,982	5%
	3								4,67	564,32	1,5628E+10	4,524	3%
	4								4,75	600,38	1,8998E+10	4,341	9%
	5								5,06	479,79	1,0787E+10	4,982	2%
	6								4,56	608,01	1,5087E+10	4,561	0%
<b>média h</b>									<b>4,94</b>	<b>535,35</b>		<b>4,73</b>	<b>4%</b>
m	1	3,2	0,6	8	0,26	9,50E+06	cas	grandis	4,53	479,79	1,0787E+10	4,519	0%
	2								3,98	556,21	1,8151E+10	3,955	1%
	3								3,53	627,92	2,1737E+10	3,817	-8%
	4								4,05	627,92	2,1737E+10	3,817	6%
	5								4,11	627,92	2,1737E+10	3,817	8%
	6								4,08	627,92	2,1737E+10	3,817	7%
<b>média m</b>									<b>4,05</b>	<b>591,28</b>		<b>3,96</b>	<b>2%</b>

TABELA C.10 (continuação)

amostra	CP	espaça (cm)	diâmetro (cm)	comp. embut. (cm)	espessura material interface (mm)	E material interface (Nm2)	adesivo	madeira	deslocamento experimental (mm)	densidade aparente (kg/m3)	E1 (N/m2)	deslocamento numérico (mm)	diferença
i	1	2,6	0,8	5	0,21	9,50E+06	cas	grandis	4,94	514,63	1,6463E+10	4,472	10%
	2								5,57	627,92	2,1737E+10	5,037	11%
	3								5,39	627,92	2,1737E+10	5,037	7%
	4								4,58	514,63	1,6463E+10	4,472	2%
	5								4,43	514,63	1,6463E+10	4,472	-1%
	6								5,19	627,92	2,1737E+10	5,037	3%
<b>média i</b>									<b>5,02</b>	<b>571,28</b>		<b>4,75</b>	<b>5%</b>
j	1	2,6	0,8	6,5	0,21	9,50E+06	cas	grandis	3,93	479,79	1,0787E+10	3,666	7%
	2								3,39	479,79	1,0787E+10	3,666	-7%
	3								4,16	627,92	2,1737E+10	4,431	-6%
	4								3,41	479,79	1,0787E+10	3,666	-7%
	5								3,71	479,79	1,0787E+10	3,666	1%
	6								3,46	479,79	1,0787E+10	3,666	-6%
<b>média j</b>									<b>3,67</b>	<b>504,48</b>		<b>3,79</b>	<b>-3%</b>
n	1	2,6	0,8	8	0,21	9,50E+06	cas	grandis	3,37	627,92	2,1737E+10	3,367	0%
	2								2,91	627,92	2,1737E+10	3,367	-13%
	3								3,23	627,92	2,1737E+10	3,367	-4%
	4								2,90	627,92	2,1737E+10	3,367	-14%
	5								2,84	627,92	2,1737E+10	3,367	-16%
	6								3,10	627,92	2,1737E+10	3,367	-8%
<b>média n</b>									<b>3,06</b>	<b>627,92</b>		<b>3,37</b>	<b>-9%</b>
k	1	2	1	5	0,21	9,50E+06	cas	grandis	3,67	627,92	2,1737E+10	4,298	-15%
	2								4,95	479,79	1,0787E+10	5,156	-4%
	3								3,81	627,92	2,1737E+10	4,298	-11%
	4								4,66	470,53	1,5227E+10	4,664	0%
	5								3,69	627,92	2,1737E+10	4,298	-14%
	6								4,44	552,38	1,8493E+10	4,449	0%
<b>média k</b>									<b>4,20</b>	<b>564,41</b>		<b>4,53</b>	<b>-7%</b>

TABELA C.10 (continuação)

amostra	CP	espaça (cm)	diâmetro (cm)	comp. embut. (cm)	espessura material interface (mm)	E material interface (Nm2)	adesivo	madeira	deslocamento experimental (mm)	densidade aparente (kg/m3)	E1 (N/m2)	deslocamento numérico (mm)	diferença
1	1	2	1	6,5	0,21	9,50E+06	cas	grandis	3,69	568,15	1,8059E+10	3,932	-6%
	2								3,12	627,92	2,1737E+10	3,772	-17%
	3								3,72	652,50	1,9962E+10	3,842	-3%
	4								3,24	627,92	2,1737E+10	3,772	-14%
	5								3,85	627,92	2,1737E+10	3,772	2%
	6								3,16	627,92	2,1737E+10	3,772	-16%
<b>média l</b>									<b>3,46</b>	<b>622,06</b>		<b>3,81</b>	<b>-9%</b>
o	1	2	1	8	0,21	9,50E+06	cas	grandis	2,95	627,92	2,1737E+10	3,144	-6%
	2								2,79	627,92	2,1737E+10	3,144	-11%
	3								2,71	627,92	2,1737E+10	3,144	-14%
<b>média o</b>									<b>2,82</b>	<b>627,92</b>		<b>3,14</b>	<b>-10%</b>
amostra	CP	espaça (cm)	diâmetro (cm)	comp. embut. (cm)	espessura material interface (mm)	E material interface (Nm2)	adesivo	madeira	deslocamento (mm)	densidade aparente (kg/m3)	E1 (N/m2)	deslocamento numérico (mm)	diferença
g	1	3,2	0,6	5	0,13	2,15E+07	pva	cloeziana	4,51	753,5	3,3643E+08	4,8712	-8%
	2								5,30	805,09	2,7473E+08	5,8354	-9%
	3								6,69	986,43	2,3089E+08	6,8208	-2%
	4								5,63	805,09	2,7473E+08	5,8354	-3%
	5								5,44	805,09	2,7473E+08	5,8354	-7%
	6								4,52	753,5	3,3643E+08	4,8712	-7%
<b>média g</b>									<b>5,35</b>	<b>818,12</b>		<b>5,68</b>	<b>-6%</b>
h	1	3,2	0,6	6,5	0,13	2,15E+07	pva	cloeziana	3,98	789,99	3,2300E+08	3,7848	5%
	2								3,43	661,73	3,4578E+08	3,5640	-4%
	3								2,87	532,2	4,2737E+08	2,9597	-3%
	4								4,12	904,84	2,9826E+08	4,0610	2%
	5								3,29	753,5	3,3643E+08	3,6512	-10%
	6								4,11	789,99	3,2300E+08	3,7848	8%
<b>média h</b>									<b>3,63</b>	<b>738,71</b>		<b>3,63</b>	<b>0%</b>

TABELA C.10 (continuação)

amostra	CP	espaça (cm)	diâmetro (cm)	comp. embut. (cm)	espessura material interface (mm)	E material interface (Nm <sup>2</sup> )	adesivo	madeira	deslocamento experimental (mm)	densidade aparente (kg/m <sup>3</sup> )	E1 (N/m <sup>2</sup> )	deslocamento numérico (mm)	diferença
m	1	3,2	0,6	8	0,13	2,15E+07	pva	cloeziana	3,47	753,5	3,3643E+08	3,3318	4%
	2								3,00	753,5	3,3643E+08	3,3318	-10%
	3								3,11	753,5	3,3643E+08	3,3318	-7%
	4								2,62	603,5	3,9373E+08	2,9029	-10%
	5								2,74	653,5	3,7377E+08	3,0380	-10%
	6								3,32	753,5	3,3643E+08	3,3318	0%
<b>média m</b>									<b>3,04</b>	<b>711,83</b>		<b>3,21</b>	<b>-5%</b>
i	1	2,6	0,8	5	0,13	2,15E+07	pva	cloeziana	4,83	838,06	3,0165E+08	4,8058	1%
	2								3,42	764,01	4,3762E+09	3,8279	-11%
	3								5,44	788,35	3,2772E+08	4,9171	11%
	4								3,80	764,01	4,3762E+09	3,8279	-1%
	5								4,11	838,06	3,0165E+08	4,8058	-15%
	6								4,61	838,06	3,0165E+08	4,8058	-4%
<b>média i</b>									<b>4,37</b>	<b>805,09</b>		<b>4,50</b>	<b>-3%</b>
amostra	CP	espaça (cm)	diâmetro (cm)	comp. embut. (cm)	espessura material interface (mm)	E material interface (Nm <sup>2</sup> )	adesivo	madeira	deslocamento experimental (mm)	densidade aparente (kg/m <sup>3</sup> )	E1 (N/m <sup>2</sup> )	deslocamento numérico (mm)	diferença
J	1	2,6	0,8	6,5	0,13	2,15E+07	pva	cloeziana	4,69	753,5	3,3643E+08	4,3834	7%
	2								3,61	532,20	4,2550E+08	3,591	1%
	3								4,42	865,65	3,1053E+08	4,6941	-6%
	4								5,35	761,15	2,4412E+08	5,7744	-7%
	5								4,44	753,5	3,3643E+08	4,3834	1%
	6								3,28	532,20	4,2550E+08	3,591	-9%
<b>média j</b>									<b>4,30</b>	<b>699,70</b>		<b>4,40</b>	<b>-2%</b>
n	1	2,6	0,8	8	0,13	2,15E+07	pva	cloeziana	2,51	532,2	4,2550E+08	2,6415	-5%
	2								4,02	853,5	2,7296E+08	3,8398	5%
	3								4,87	853,5	2,2223E+08	4,5741	6%
	4								4,69	853,5	2,2223E+08	4,5741	3%
	5								ensaio incompleto				
	6								ensaio incompleto				
<b>média n</b>									<b>4,02</b>	<b>773,18</b>		<b>3,91</b>	<b>3%</b>

TABELA C.10 (continuação)

Amostra	CP	espaça (cm)	diâmetro (cm)	comp. embut. (cm)	espessura material interface (mm)	E material interface (Nm <sup>2</sup> )	adesivo	madeira	deslocamento experimental (mm)	densidade aparente (kg/m <sup>3</sup> )	E1 (N/m <sup>2</sup> )	deslocamento numérico (mm)	diferença
k	1	2	1	5	0,13	2,15E+07	pva	cloeziana	6,23	675,70	2,4940E+08	6,206	0%
	2								7,52	862,99	2,1948E+08	6,9515	8%
	3								6,89	840,23	2,0184E+08	7,4922	-8%
	4								8,60	904,84	1,6986E+08	8,7529	-2%
	5								7,54	840,23	2,0184E+08	7,4922	1%
	6								8,19	904,84	1,9231E+08	7,8248	5%
<b>média k</b>									<b>7,50</b>	<b>838,14</b>		<b>7,45</b>	<b>1%</b>
l	1	2	1	6,5	0,13	2,15E+07	pva	cloeziana	5,14	532,20	2,4027E+08	5,6536	-9%
	2								5,50	532,20	2,4027E+08	5,6536	-3%
	3								4,16	753,40	3,3651E+08	4,2488	-2%
	4								4,21	753,40	3,3651E+08	4,2488	-1%
	5								5,04	798,11	2,9322E+08	4,7709	6%
	6								4,38	753,40	3,3651E+08	4,2488	3%
<b>média l</b>									<b>4,74</b>	<b>687,12</b>		<b>4,80</b>	<b>-1%</b>
o	1	2	1	8	0,13	2,15E+07	pva	cloeziana	4,43	753,5	2,9614E+08	4,3625	2%
	2								2,90	533,5	4,2658E+08	3,2419	-10%
	3								3,22	553,5	4,1639E+08	3,3056	-3%
	4								3,98	753,5	3,3643E+08	3,9293	1%
	5								4,40	753,5	2,9614E+08	4,3625	1%
	6								3,86	753,5	3,3643E+08	3,9293	-2%
<b>média o</b>									<b>3,80</b>	<b>683,50</b>		<b>3,86</b>	<b>-1%</b>

amostra	CP	espaça (cm)	diâmetro (cm)	comp. embut. (cm)	espessura material interface (mm)	E material interface (Nm <sup>2</sup> )	adesivo	madeira	deslocamento experimental (mm)	densidade aparente (kg/m <sup>3</sup> )	E1 (N/m <sup>2</sup> )	deslocamento numérico (mm)	diferença
g	1	3,2	0,6	5	0,26	2,50E+07	cas	cloeziana	4,93	664,54	3,3312E+08	4,8918	1%
	2								4,78	753,5	3,3643E+08	4,8498	-1%
	3								4,60	630,27	3,6551E+08	4,5048	2%
	4								4,94	664,54	3,3312E+08	4,8918	1%
	5								5,98	743,85	2,9451E+08	5,6220	6%
	6								5,29	615,62	2,9034E+08	5,5326	-4%
<b>média g</b>									<b>5,09</b>	<b>678,72</b>		<b>5,05</b>	<b>1%</b>

TABELA C.10 (continuação)

amostra	CP	espaça (cm)	diâmetro (cm)	comp. embut. (cm)	espessura material interface (mm)	E material interface (Nm <sup>2</sup> )	adesivo	madeira	deslocamento experimental (mm)	densidade aparente (kg/m <sup>3</sup> )	E1 (N/m <sup>2</sup> )	deslocamento numérico (mm)	diferença
h	1	3,2	0,6	6,5	0,26	2,50E+07	cas	cloeziana	3,36	553,5	4,1572E+08	3,7188	-10%
	2								3,83	615,62	3,8887E+08	3,9512	-3%
	3								3,68	615,62	3,8887E+08	3,9512	-7%
	4								3,37	553,5	4,1572E+08	3,7188	-9%
	5								5,09	670,16	3,1528E+08	4,9584	3%
	6								4,01	577,70	4,0420E+08	3,8119	5%
<b>média h</b>									<b>3,89</b>	<b>597,68</b>		<b>4,02</b>	<b>-3%</b>
m	1	3,2	0,6	8	0,26	2,50E+07	cas	cloeziana	2,28	532,2	4,2766E+08	2,6676	-15%
	2								2,78	532,2	4,2766E+08	2,6676	4%
	3								2,89	532,2	4,2766E+08	2,6676	8%
	4								2,55	532,2	4,2766E+08	2,6676	-4%
	5								2,61	532,2	4,2766E+08	2,6676	-2%
	6								2,83	532,2	4,2766E+08	2,6676	6%
<b>média m</b>									<b>2,66</b>	<b>532,20</b>		<b>2,67</b>	<b>0%</b>
i	1	2,6	0,8	5	0,26	2,50E+07	cas	cloeziana	5,26	877,90	3,0451E+08	5,2132	1%
	2								6,02	797,10	2,8151E+08	5,587	8%
	3								5,24	877,90	3,0451E+08	5,2132	1%
	4								5,69	797,10	2,8151E+08	5,587	2%
	5								5,83	797,10	2,8151E+08	5,587	4%
	6								6,03	797,10	2,8151E+08	5,587	8%
<b>média i</b>									<b>5,68</b>	<b>824,04</b>		<b>5,46</b>	<b>4%</b>
j	1	2,6	0,8	6,5	0,26	2,50E+07	cas	cloeziana	3,76	553,5	4,1572E+08	3,6397	3%
	2								3,60	553,5	4,1572E+08	3,6397	-1%
	3								3,90	653,5	3,7299E+08	3,9918	-2%
	4								4,11	753,5	3,3743E+08	4,36	-6%
	5								4,97	867,90	2,9923E+08	4,8217	3%
	6								5,31	867,90	2,8714E+08	4,9961	6%
<b>média j</b>									<b>4,27</b>	<b>708,30</b>		<b>4,24</b>	<b>1%</b>

TABELA C.10 (continuação)

amostra	CP	espaça (cm)	diâmetro (cm)	comp. embut. (cm)	espessura material interface (mm)	E material interface (Nm <sup>2</sup> )	adesivo	madeira	deslocamento experimental (mm)	densidade aparente (kg/m <sup>3</sup> )	E1 (N/m <sup>2</sup> )	deslocamento numérico (mm)	diferença
n	1	2,6	0,8	8	0,26	2,50E+07	cas	cloeziana	4,71	753,5	2,7152E+08	4,9242	-4%
	2								4,54	753,5	2,7152E+08	4,9242	-8%
	3								4,42	753,5	3,3643E+08	4,1047	8%
	4								2,93	532,2	4,2766E+08	2,7055	8%
	5								3,34	553,5	4,1572E+08	3,4334	-3%
	6								3,79	653,5	3,6923E+08	3,7942	0%
<b>média n</b>									<b>3,95</b>	<b>666,62</b>		<b>3,98</b>	<b>-1%</b>
k	1	2	1	5	0,26	2,50E+07	cas	cloeziana	5,11	781,56	3,3167E+08	4,805	6%
	2								3,58	553,50	4,1677E+08	3,9472	-9%
	3								4,12	645,02	3,7714E+08	4,2793	-4%
	4								3,47	553,50	4,1677E+08	3,9472	-12%
	5								4,70	745,02	3,4332E+08	4,6633	1%
	6								4,74	745,02	3,4332E+08	4,6633	2%
<b>média k</b>									<b>4,29</b>	<b>670,60</b>		<b>4,38</b>	<b>-2%</b>
l	1	2	1	6,5	0,26	2,50E+07	cas	cloeziana	2,71	532,2	4,2766E+08	3,0053	-10%
	2								2,64	532,2	4,2766E+08	3,0053	-12%
	3								3,42	553,5	4,1677E+08	3,0858	11%
	4								4,55	714,44	3,1952E+08	4,4132	3%
	5								2,96	553,5	4,1677E+08	3,0858	-4%
	6								2,92	553,5	4,1677E+08	3,0858	-5%
<b>média l</b>									<b>3,20</b>	<b>573,22</b>		<b>3,28</b>	<b>-2%</b>
o	1	2	1	8	0,26	2,50E+07	cas	cloeziana	2,61	532,2	4,2766E+08	2,7297	-4%
	2								2,51	532,2	4,2766E+08	2,7297	-8%
	3								2,49	532,2	4,2766E+08	2,7297	-9%
	4								2,56	532,2	4,2766E+08	2,7297	-6%
	5								2,86	532,2	4,2766E+08	2,7297	5%
	6								2,96	553,5	4,1677E+08	2,7877	6%
<b>média o</b>									<b>2,67</b>	<b>535,75</b>		<b>2,74</b>	<b>-3%</b>

TABELA C.11  
Estudo comparativo entre o deslocamento experimental e numérico – ligações espigadas

amostra	CP	altura (cm)	comp. embut. (cm)	espessura material interface (mm)	E material de interface (Nm <sup>2</sup> )	adesivo	madeira	deslocamento experimental (mm)	densidade aparente (kg/m <sup>3</sup> )	EI (N/m <sup>2</sup> )	deslocamento numérico (mm)	diferença
a	1	2,5	1,75	0,66	8,25E+06	pva	grandis	7,87	532,61	1,4048E+10	7,7490	2%
	2							7,74	532,61	1,4048E+10	7,7490	0%
	3							6,70	628,76	2,2014E+10	6,9400	-3%
	4							6,26	628,76	2,2014E+10	6,9400	-10%
	5							8,37	549,55	1,1140E+10	8,3290	0%
	6							7,39	544,70	1,5886E+10	7,4910	-1%
<b>média a</b>								<b>7,39</b>	<b>569,50</b>		<b>7,53</b>	<b>-2%</b>
b	1	3,25	1,75	0,66	8,25E+06	pva	grandis	6,03	865,65	1,6908E+10	5,769	5%
	2							6,09	865,65	1,6908E+10	5,769	6%
	3							6,53	549,55	1,1140E+10	6,607	-1%
	4							6,47	549,55	1,1140E+10	6,607	-2%
	5							6,57	549,55	1,1140E+10	6,607	-1%
	6							6,43	549,55	1,1140E+10	6,607	-3%
<b>média b</b>								<b>6,35</b>	<b>654,92</b>		<b>6,33</b>	<b>0%</b>
c	1	3,25	2,5	0,66	8,25E+06	pva	grandis	5,48	511,87	1,0268E+10	5,388	2%
	2							5,73	648,45	9,6583E+09	5,542	3%
	3							5,67	648,45	9,6583E+09	5,542	2%
	4							5,50	648,45	9,6583E+09	5,542	-1%
	5							5,65	648,45	9,6583E+09	5,542	2%
	6							5,47	511,87	1,0268E+10	5,388	1%
<b>média c</b>								<b>5,58</b>	<b>602,92</b>		<b>5,49</b>	<b>2%</b>
d	1	3,25	3,25	0,66	8,25E+06	pva	grandis	4,32	511,87	1,0268E+10	4,564	-5%
	2							4,95	648,45	9,6583E+09	4,714	5%
	3							4,78	648,45	9,6583E+09	4,714	1%
	4							4,69	648,45	9,6583E+09	4,714	-1%
	5							3,89	544,70	1,5886E+10	3,723	4%
	6							4,46	511,87	1,0268E+10	4,564	-2%
<b>média d</b>								<b>4,51</b>	<b>585,63</b>		<b>4,50</b>	<b>0%</b>

TABELA C.11 (continuação)

amostra	CP	altura (cm)	comp. embut. (cm)	espessura material interface (mm)	E material de interface (Nm <sup>2</sup> )	adesivo	madeira	deslocamento experimental (mm)	densidade aparente (kg/m <sup>3</sup> )	E1 (N/m <sup>2</sup> )	deslocamento numérico (mm)	diferença
e	1	4,25	1,75	0,66	8,25E+06	pva	grandis	5,27	648,45	9,6583E+09	5,3	-1%
	2							5,79	648,45	9,6583E+09	5,3	9%
	3							5,61	648,45	9,6583E+09	5,3	6%
	4							5,64	648,45	9,6583E+09	5,3	6%
	5							5,45	648,45	9,6583E+09	5,3	3%
	6							5,34	648,45	9,6583E+09	5,3	1%
<b>média e</b>								<b>5,52</b>	<b>648,45</b>		<b>5,30</b>	<b>4%</b>
f	1	5	1,75	0,66	8,25E+06	pva	grandis	5,99	544,37	1,5581E+10	este não foi avaliado numericamente	
	2							6,28	623,55	2,0545E+10		
	3							5,82	518,24	1,3086E+10		
	4							3,83	470,53	1,5227E+10		
	5							5,83	448,21	1,6455E+10		
	6							5,83	533,70	1,2912E+10		
<b>média f</b>								<b>5,60</b>	<b>523,10</b>			

amostra	CP	altura (cm)	comp. embut. (cm)	espessura material interface (mm)	E material de interface (Nm <sup>2</sup> )	adesivo	madeira	deslocamento (mm)	densidade aparente (kg/m <sup>3</sup> )	E1 (N/m <sup>2</sup> )	deslocamento numérico (mm)	diferença
a	1	2,5	1,75	0,66	9,50E+06	cas	grandis	6,63	608,01	1,5087E+10	6,7162	-1%
	2							5,42	628,76	2,2014E+10	6,0912	-11%
	3							6,07	516,24	1,9638E+10	6,2563	-3%
	4							7,10	479,79	1,0787E+10	7,5005	-5%
	5							5,69	628,76	2,2014E+10	6,0912	-7%
	6							5,90	628,76	2,2014E+10	6,0912	-3%
<b>média a</b>								<b>6,13</b>	<b>581,72</b>		<b>6,46</b>	<b>-5%</b>
b	1	3,25	1,75	0,66	9,50E+06	cas	grandis	5,04	576,25	1,5603E+10	5,2214	-3%
	2							4,33	627,92	2,1737E+10	4,7462	-9%
	3							5,01	576,25	1,5603E+10	5,2214	-4%
	4							4,77	577,11	1,6459E+10	5,1341	-7%
	5							4,70	627,92	2,1737E+10	4,7462	-1%
	6							5,02	576,25	1,5603E+10	5,2214	-4%
<b>média b</b>								<b>4,81</b>	<b>593,62</b>		<b>5,05</b>	<b>-5%</b>

TABELA C.11 (continuação)

amostra	CP	altura (cm)	comp. embut. (cm)	espessura material interface (mm)	E material interface (Nm <sup>2</sup> )	adesivo	madeira	deslocamento experimental (mm)	densidade aparente (kg/m <sup>3</sup> )	E1 (N/m <sup>2</sup> )	deslocamento numérico (mm)	diferença
c	1	3,25	2,5	0,66	9,50E+06	cas	grandis	4,43	586,11	1,2694E+10	4,5920	-4%
	2							4,16	576,25	1,5603E+10	4,2220	-1%
	3							5,03	745,42	9,6228E+09	5,2222	-4%
	4							4,06	576,25	1,5603E+10	4,2220	-4%
	5							4,20	586,11	1,2694E+10	4,5920	-9%
	6							4,20	586,11	1,2694E+10	4,5920	-9%
<b>média c</b>								<b>4,35</b>	<b>609,37</b>		<b>4,57</b>	<b>-5%</b>
d	1	3,25	3,25	0,66	9,50E+06	cas	grandis	3,48	561,76	1,3502E+10	3,7540	-7%
	2							4,77	745,42	9,6228E+09	4,4800	6%
	3							4,64	745,42	9,6228E+09	4,4800	4%
	4							3,18	554,22	1,7519E+10	3,3390	-5%
	5							3,35	561,76	1,3502E+10	3,7540	-11%
	6							3,80	479,79	1,0787E+10	4,2080	-10%
<b>média d</b>								<b>3,87</b>	<b>608,06</b>		<b>4,00</b>	<b>-3%</b>
e	1	4,25	1,75	0,66	9,50E+06	cas	grandis	4,33	559,09	1,2460E+10	4,41	-2%
	2							3,85	492,05	1,7730E+10	3,842	0%
	3							3,77	492,05	1,7730E+10	3,842	-2%
	4							3,95	471,74	1,6136E+10	3,976	-1%
	5							4,84	745,42	9,6228E+09	4,964	-2%
	6							4,28	559,09	1,2460E+10	4,406	-3%
<b>média e</b>								<b>4,17</b>	<b>553,24</b>		<b>4,24</b>	<b>-2%</b>
f	1	5	1,75	0,66	9,50E+06	cas	grandis	3,54	448,15	1,5097E+10	este não foi avaliado numericamente	
	2							3,18	573,57	1,6835E+10		
	3							3,30	627,92	2,1737E+10		
	4							3,31	470,49	1,5410E+10		
	5							3,77	452,30	1,8841E+10		
	6							3,37	550,41	1,9235E+10		
<b>média f</b>								<b>3,41</b>	<b>520,47</b>			

TABELA C.11 (continuação)

amostra	CP	altura (cm)	comp. embut. (cm)	espessura material interface (mm)	E material interface (Nm <sup>2</sup> )	adesivo	madeira	deslocamento experimental (mm)	densidade aparente (kg/m <sup>3</sup> )	E1 (N/m <sup>2</sup> )	deslocamento numérico (mm)	diferença						
a	1	2,5	1,75	0,13	2,15E+07	pva	cloeziana	9,43	826,26	3,1391E+08	9,2929	2%						
	2							9,11	818,94	3,2196E+08	9,0641	0%						
	3							10,91	798,01	2,7631E+08	10,5377	3%						
	4							10,59	798,01	2,7631E+08	10,5377	1%						
	5							ensaio incompleto										
	6							9,18	753,5	3,3643E+08	8,6804	6%						
<b>média a</b>								<b>9,84</b>	<b>798,94</b>		<b>9,62</b>	<b>2%</b>						
b	1	3,25	1,75	0,13	2,15E+07	pva	cloeziana	8,57	865,65	3,1053E+08	7,9999	7%						
	2							7,93	764,01	3,2674E+08	7,6081	4%						
	3							8,03	797,10	2,9820E+08	8,3264	-4%						
	4							8,53	797,10	2,9820E+08	8,3264	2%						
	5							ensaio incompleto										
	6							8,37	797,10	2,9820E+08	8,3264	1%						
<b>média b</b>								<b>8,29</b>	<b>804,20</b>		<b>8,12</b>	<b>2%</b>						
c	1	3,25	2,5	0,13	2,15E+07	pva	cloeziana	7,42	775,70	3,2330E+08	7,3082	1%						
	2							7,20	714,44	3,1952E+08	7,3936	-3%						
	3							7,74	607,40	2,8589E+08	8,2533	-6%						
	4							7,15	775,70	3,2330E+08	7,3082	-2%						
	5							7,74	607,40	2,8589E+08	8,2533	-6%						
	6							7,98	607,40	2,8589E+08	8,2533	-3%						
<b>média c</b>								<b>7,54</b>	<b>681,34</b>		<b>7,79</b>	<b>-3%</b>						
d	1	3,25	3,25	0,13	2,15E+07	pva	cloeziana	5,35	583,5	4,0262E+08	5,7361	-7%						
	2							ensaio incompleto										
	3							6,55	745,02	3,4332E+08	6,7144	-2%						
	4							6,74	741,63	3,4261E+08	6,7282	0%						
	5							6,45	745,02	3,4332E+08	6,7144	-4%						
	6							5,76	583,5	4,0262E+08	5,7361	0%						
<b>média d</b>								<b>6,17</b>	<b>679,74</b>		<b>6,33</b>	<b>-2%</b>						

TABELA C.11 (continuação)

amostra	CP	altura (cm)	comp. embut. (cm)	espessura material interface (mm)	E material interface (Nm <sup>2</sup> )	adesivo	madeira	deslocamento experimental (mm)	densidade aparente (kg/m <sup>3</sup> )	E1 (N/m <sup>2</sup> )	deslocamento numérico (mm)	diferença				
e	1	4,25	1,75	0,13	2,15E+07	pva	cloeziana	6,29	765,66	3,3705E+08	6,1195	3%				
	2	4,25						6,85	838,06	3,0165E+08	6,8297	0%				
	3	4,25						4,63	583,5	4,0262E+08	5,1334	-10%				
	4	4,25						4,88	583,5	4,0262E+08	5,1334	-5%				
	5	4,25						5,87	765,66	3,3705E+08	6,1195	-4%				
	6	4,25						4,84	583,5	4,0262E+08	5,1334	-6%				
<b>média e</b>								<b>5,56</b>	<b>686,65</b>		<b>5,74</b>	<b>-3%</b>				
f	1	5	1,75	0,13	2,15E+07	pva	cloeziana	4,45	753,5	3,3643E+08	este não foi avaliado numericamente					
	2	5						3,95	753,5	3,3643E+08						
	3	5						4,06	838,06	3,0165E+08						
	4	5						4,36	753,5	3,3643E+08						
	5	5						3,87	753,5	3,3643E+08						
	6	5						4,74	753,5	3,3643E+08						
<b>média f</b>								<b>4,24</b>	<b>767,59</b>							
amostra	CP	altura (cm)	comp. embut (cm)	espessura material interface (mm)	E material interface (Nm <sup>2</sup> )	adesivo	madeira	deslocamento experimental (mm)	densidade aparente (kg/m <sup>3</sup> )	E1 (N/m <sup>2</sup> )	deslocamento numérico (mm)	diferença				
a	1	2,5	1,75	0,13	2,50E+07	cas	cloeziana	6,78	630,27	3,6551E+08	7,1118	-5%				
	2							6,90	630,27	3,6551E+08	7,1118	-3%				
	3							7,89	788,35	3,2772E+08	7,9225	0%				
	4							7,73	747,38	3,4002E+08	7,6360	1%				
	5							7,79	695,13	3,2048E+08	8,0943	-4%				
	6							6,77	630,27	3,6551E+08	7,1118	-5%				
<b>média a</b>								<b>7,31</b>	<b>686,94</b>		<b>7,50</b>	<b>-2%</b>				
b	1	3,25	1,75	0,13	2,50E+07	cas	cloeziana	6,68	761,30	3,2591E+08	6,6328	1%				
	2							6,03	664,54	3,3312E+08	6,4912	-7%				
	3							ensaio incompleto								
	4							6,11	753,5	3,3643E+08	6,4232	-5%				
	5							6,18	630,27	3,6551E+08	5,9187	4%				
	6							7,00	805,09	3,0507E+08	7,0748	-1%				
<b>média b</b>								<b>6,40</b>	<b>722,94</b>		<b>6,51</b>	<b>-2%</b>				

TABELA C.11 (continuação)

amostra	CP	altura (cm)	comp. embut (cm)	espessura material interface (mm)	E material interface (Nm <sup>2</sup> )	adesivo	madeira	deslocamento experimental (mm)	densidade aparente (kg/m <sup>3</sup> )	E1 (N/m <sup>2</sup> )	deslocamento numérico (mm)	diferença
c	1	3,25	2,5	0,13	2,50E+07	cas	cloeziana	ensaio incompleto				
	2							ensaio incompleto				
	3							4,79	577,70	4,0532E+08	5,0219	-5%
	4							4,92	577,70	4,0532E+08	5,0219	-2%
	5							5,69	694,18	3,3551E+08	6,0530	-6%
	6							4,78	577,70	4,0532E+08	5,0219	-5%
<b>média c</b>								<b>5,04</b>	<b>606,82</b>		<b>5,28</b>	<b>-4%</b>
d	1	3,25	3,25	0,13	2,50E+07	cas	cloeziana	4,85	577,70	4,0532E+08	4,7838	1%
	2							4,85	577,70	4,0532E+08	4,7838	1%
	3							ensaio incompleto				
	4							4,04	577,70	4,0532E+08	4,7838	-16%
	5							4,20	577,70	4,0532E+08	4,7838	-12%
	6							4,38	577,70	4,0532E+08	4,7838	-9%
<b>média d</b>								<b>4,46</b>	<b>577,70</b>		<b>4,78</b>	<b>-7%</b>
e	1	4,25	1,75	0,13	2,50E+07	cas	cloeziana	5,83	743,85	2,9451E+08	5,9031	-1%
	2							5,96	743,85	2,9451E+08	5,9031	1%
	3							6,46	743,85	2,9451E+08	5,9031	9%
	4							6,48	637,51	2,9295E+08	5,9342	9%
	5							5,03	753,5	3,3643E+08	5,1742	-3%
	6							5,10	753,5	3,3643E+08	5,1742	-1%
<b>média e</b>								<b>5,81</b>	<b>729,34</b>		<b>5,67</b>	<b>3%</b>
f	1	5	1,75	0,13	2,50E+07	cas	cloeziana	2,77	680,64	3,3527E+08	este não foi avaliado numericamente	
	2							2,78	753,5	3,3643E+08		
	3							2,70	761,15	3,3504E+08		
	4							2,64	871,90	3,0584E+08		
	5							2,87	944,98	2,9390E+08		
	6							3,56	753,5	3,3643E+08		
<b>média f</b>								<b>2,89</b>	<b>794,28</b>			